
ORIGINAL-BAUPLÄNE
DMV
Klaus Schlenzig
Prüfgeräte
für Transistoren und Dioden
Preis: 1,– MDN

Originalbauplan Nr. 4

Inhaltsverzeichnis

1. Anliegen

Die ersten drei Pläne dieser Reihe brachten interessante Schaltungen mit modernen Bauelementen und gingen davon aus, daß die Bauelemente „in Ordnung" waren. Diesmal steht im Mittelpunkt der „fragwürdige" Teil, d. h., es geht um Bauelemente, die vor Verwendung sozusagen auf Herz und Nieren zu prüfen sind, es handelt sich um Bastlertransistoren sowie um die vielen anderen Halbleiterbauelemente, die uns die Industrie in großen Mengen und äußerst preiswert zu Bastlerzwecken zur Verfügung stellt, weil deren Daten für industrielle Zwecke zu weit streuen.
Unterschiedlichste Daten sind also zu messen, damit wir die günstige Lage voll ausnützen können und eine Schaltung nicht so transistorsparend wie möglich aufbauen, sondern den tatsächlichen Anforderungen entsprechend.
Das kennzeichnet übrigens auch die Situation, die in der Festkörpertechnik – einer Technik der nahen Zukunft – gegeben ist! Dort lassen sich in einem Arbeitsgang beliebig viele Transistorfunktionen innerhalb eines Schaltkreises herstellen; bei manchen Verfahren ist ein üblicher Widerstand sogar teurer zu realisieren! Das bedeutet, der Nachwuchs wird jetzt praktisch beim Entwurf einer Schaltung ähnlich handeln wie der Entwickler einer Festkörperschaltung.
Der Bauplan kann zu den physikalischen Vorgängen in Transistor und Diode nur wenig, und zwar stark vereinfacht sagen; für die Vertiefung und „Entsimpelung" der Kenntnisse ist die Fachliteratur zuständig. Im Mittelpunkt stehen hier ihre grundsätzlichen Eigenschaften, die zu erwartenden Mängel, ihre zweckmäßige Prüfung und einige Schaltungsbeispiele. Dieser Plan, der oder die nach ihm gebauten Tester und ein Sortiment Basteltransistoren sowie verwertbare Ausschußhalbleiter sollen den Start ins interessante Reich der Halbleitertechnik erleichtern. Darüber hinaus wird der Bauplan aber jedem nützen, der Transistoren prüfen muß, gleichgültig woher diese stammen.

2. Das Wichtigste von Transistor und Diode

2.1. Wirkungsweise

pn-Übergang

Grundlage der Wirkungsweise von Halbleiterbauelementen ist das Verhalten des sogenannten pn-Übergangs. Dieser zeigt nämlich nach außen hin einen ganz verschiedenen Widerstand, je nachdem wie die anliegende Spannung gepolt ist. Im Idealfall sperrt er völlig, wenn an der p-Seite negative Spannung liegt, und er ist bei positiver Spannung an der p-Seite geöffnet.

Verstärkerwirkung

Zwei dicht nebeneinanderliegende pn-Übergänge, z. B. in der Reihenfolge pnp, lassen sich als Verstärker ausnutzen, denn schickt man durch den einen Übergang einen Strom, so vermag dieser bei entsprechend behandelter Mittelzone die „Durchlässigkeit" des andern Übergangs zu verändern, ähnlich wie das Gitter einer Elektronenröhre auf den Strom zwischen Katode und Anode Einfluß nimmt. Jeder der drei Bereiche hat einen Anschluß nach außen. In der Reihenfolge pnp (bzw. npn) nennt man sie Emitter, Basis, Kollektor.

ideale Bauelemente

Eine ideale Diode läßt in Sperrichtung keinen Strom fließen, während sie in Durchlaßrichtung dem Strom keinen Widerstand entgegensetzt. Ein idealer Transistor zeigt erst Kollektorstrom, wenn (bei anliegender Kollektorspannung) eingangsseitig ein Strom fließt. Ideale Bauelemente gibt es jedoch nicht, daher versucht der Hersteller, alles geringzuhalten, was der Wunschfunktion zuwiderläuft. Der Anwender dagegen bemüht sich, nachteilige Effekte zu kompensieren. Beides hat ökonomische Grenzen.

zulässige Leistung

Man kann ein Bauelement, abhängig von seiner Größe und von der zulässigen Eigentemperatur, mit einer bestimmten Leistung belegen. Eine Diode, bei der in Durchlaßrichtung ein bestimmter Spannungsabfall entsteht, erwärmt sich durch diese Verlustleistung, ausgedrückt durch das Produkt aus Spannungsabfall und Durchlaßstrom. Die Kennlinie einer Diode (Bild 1) zeigt, daß diese Leistung vom Durchlaßstrom abhängig ist. Der unerwünschte Sperrstrom der „realen Diode" wiederum verursacht im Produkt mit der wesentlich höheren Sperrspannung ebenfalls eine nicht vernachlässigbare Erwärmung. Man hat also im Einsatz darauf zu achten, daß die Summe beider Leistungen unterhalb der zulässigen bleibt, bzw. man muß die Diode (den Gleichrichter) entsprechend kühlen.

Sperrspannung

Durchlaßstrom

Sperrstrom

Kollektorspannung

Sperrspannung und Durchlaßstrom hängen unmittelbar von den durch die Oberfläche und die Bauform bedingten Wärmeeigenschaften der Diode ab. Bei einem bestimmten Diodentyp mit Kenndaten laut Katalog wird damit all das zu „Ausschuß", bei dem bestimmte zulässige Sperrspannungswerte wegen zu hoher Sperrströme unterschritten werden und bei dem man den Durchlaßstrom wegen zu hohen Durchlaßwiderstands beschränken muß. Dennoch sind sie funktionsfähig. Auch die Ausgangsdiode des Transistors zeigt einen solchen Sperrstrom, der schon von einer recht geringen Kollektorspannung ab unabhängig von dieser ist (ähnlich wie bei der Diode), bis er für zu hohe Kollektorspannungen entweder in einen Durchbruchsstrom übergeht oder infolge der Aufheizung durch das Produkt von Sperrstrom und Kollektorspannung immer mehr ansteigt.

Reststrom

Temperaturabhängigkeit

Das Besondere an dem Sperrstrom eines pn-Übergangs ist seine Temperaturabhängigkeit. Erst dadurch wird ein hoher Reststrom, wie man ihn beim Transistor nennt, so unangenehm: Bei 7 bis 10 °C Temperaturerhöhung verdoppelt sich jeweils sein Wert. So kann es leicht geschehen, daß sich bei größeren Restströmen und entsprechend hoher Kollektorspannung durch die einsetzende Erwärmung der Reststrom selbst „hochschaukelt" und schließlich – wenn keine Begrenzung in der Schaltung vorgesehen ist – den Transistor zerstört.

Schaltungsarten

Je nach Grundschaltung spricht man von den Restströmen I_{CBO} oder I_{CEO}. Der erste tritt in Basisschaltung auf, der zweite (etwa um den Stromverstärkungsfaktor dieser Schaltung größer) in Emitterschaltung. Durch geeignete Maßnahmen (siehe 8.1.) kann man seinen

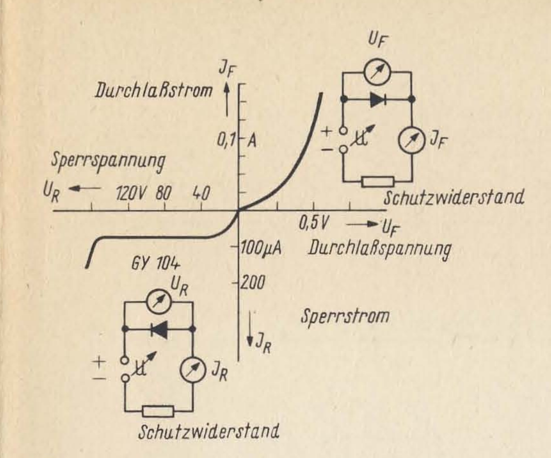


Bild 1
Kennlinie eines Flächengleichrichters und Meßprinzip

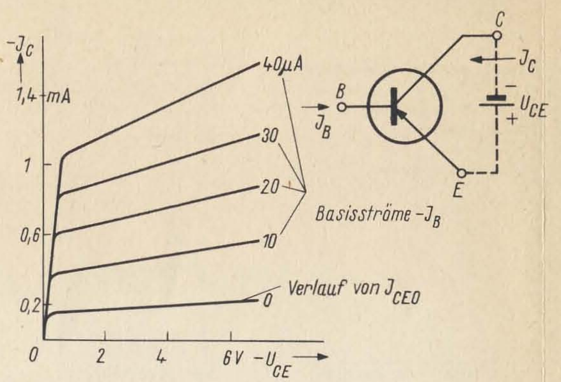


Bild 2
Verlauf des Kollektorstroms bei einem Transistor in Abhängigkeit von der Kollektorspannung für verschiedene Basisströme

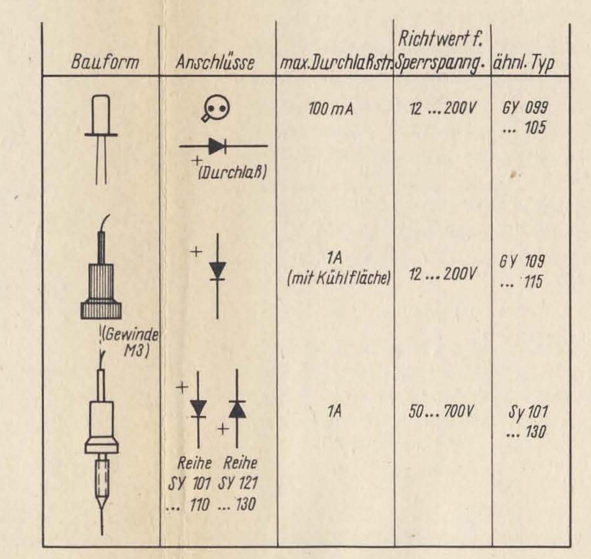
	Bauform	Anschlüsse	Verlustleistung ohne Kühlung	Verlustleistung mit Kühlung	$J_{C max}$ (mA)	ähn. Typ	Verwendung
×		b, e, c	30mW	—	15	OC 870 ... 872 GC 100 GF 100	NF; HF bis wenige MHz (AM ZF mit Neutralisation)
×		e b c	25; 50mW	100mW	10; 50 (135)	OC 811 OC 816 OC 821	NF Kleinleistg.
(×)		b, e, c	70mW	120mW	150	GC 116, GC 121	NF Kleinleistg.
	s	e, b, c, s	50mW	≈ 80mW	10	GF 120 ... 122	HF einige MHz; AM-Oszill. einschl. KW, AM-ZF ohne Neutralisation; FM - ZF
× (HF)	l	c, e, b; b, e, c; l = 25 (HF) 38 (NF)	50mW; 150mW (HF) (NF)	—	(10 mA) (135 mA)	OC 880 ... 883; OC 824 ... 829	HF wie GF 122; NF wie GC 121
×		e, b, c (Gehäuse); Kenn-Eindruck	0,5 W	1,5 W mit, (°) 4 W ohne Kenn-Eindruck (Alu-Blech 100 bzw. 200 cm²)	1A(°) 3A	OC 830 ... 838 GD 100 ... 180	NF-Leistungsstufen, Gleichspannungswandler

X z. Zt. im Sortiment I („Verwertbarer Ausschuß")

Bild 5
Gleichrichterschaltungen

erlaubt:	ohne C:
$U_{\sim} = U_{RN} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2}}$	$U_{RN} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$
$I_{-} \approx (0{,}3 \ldots 0{,}6) I_{FN}$	I_{FN}
$U_{\sim} = U_{RN} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2}}$	$U_{RN} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2}}$
$I_{-}\ (0{,}6 \ldots 1{,}5) I_{FN}$	$2\ I_{FN}$
$U_{\sim} = U_{RN} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$	$U_{RN} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$
$I_{-}\ (0{,}6 \ldots 1{,}5) I_{FN}$	$2\ I_{FN}$
$U_{\sim} = U_{RN} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2}}$	—
$I_{-}\ (0{,}3 \ldots 0{,}6)\ I_{FN}$	—

$U_{\sim}$ = Effektivwert der anliegenden Wechselspannung
I_{-} = arithmetischer Mittelwert des gleichgerichteten Stromes
U_{RN} = Nennsperrspannung
I_{FN} = Nenndurchlaßstrom



Bauform	Anschlüsse	max. Durchlaßstr.	Richtwert f. Sperrspanng.	ähnl. Typ
	+ (Durchlaß)	100 mA	12 ... 200V	GY 099 ... 105
(Gewinde M3)	+	1A (mit Kühlfläche)	12 ... 200V	GY 109 ... 115
	+ + Reihe SY 101 ... 110; Reihe SY 121 ... 130	1A	50 ... 700V	Sy 101 ... 130

Bild 3
Bauformen der für den Amateur greifbaren Halbleiterbauelemente: Transistoren

Bild 4
Bauformen der für den Amateur greifbaren Halbleiterbauelemente: Flächengleichrichter

Kniespannung

Aussteuergrenzen

Reststrom

Wert dem der Basisschaltung nähern. Bild 2 zeigt das Ausgangskennlinienfeld eines Transistors und damit auch die zweite negative Wirkung des Reststroms. Im Kollektorstromkreis befindet sich in vielen Fällen ein Ohmscher Widerstand. An diesem soll die verstärkte Wechselspannung abfallen. Deren Scheitelwert kann aber nur so groß sein, wie es der Arbeitspunkt bei einer bestimmten Kollektorgleichspannung zuläßt. Dieser soll bei Großsignal-Aussteuerung in der Mitte des aussteuerbaren Bereichs liegen. Der Bereich wiederum wird begrenzt nach oben von der Kniespannung (linker Anstieg der Kennlinienschar) und von der Reststromkennlinie. Man erkennt, daß bei hohem Reststrom und gegebener Kollektorspannung oberhalb eines bestimmten Außenwiderstandwerts (im Bild gegeben durch die Schnittpunkte der Widerstandsgeraden mit der U- und der I-Achse, $R = \frac{U}{J}$) keine Aussteuerung mehr möglich ist!

Man braucht diese Erläuterungen nicht alle sofort zu verstehen, jedoch muß man sich die Folgerungen gut einprägen.

2.2. Aufbau

Die Bilder 3 und 4 fassen die den Amateur interessierenden Bauformen von Halbleitern und ihre wichtigsten Eigenschaften zusammen. Alle in der DDR hergestellten Transistoren sind in Metallgehäusen untergebracht. Das trifft auch auf die Flächengleichrichter und Zenerdioden zu; auf Spitzendioden in Glasgehäuse soll hier nicht näher eingegangen werden.

2.3. Grundschaltungen

2.3.1. Gleichrichter

Schaltungsarten

Bild 5 informiert über die wichtigsten Schaltungsarten beim Einsatz von Gleichrichtern. Im einfachsten Falle nutzt man eine Halbwelle der Eingangswechselspannung aus, d. h., der Gleichrichter liefert in der Hälfte der Zeit nichts. Für einen Ausgleich zu einer mittleren Spannung sorgt ein nachgeschalteter Kondensator genügender Größe. Die Größe des Kondensators richtet sich nach dem Strom, den man der Gleichrichterschaltung entnehmen will, und der dabei gewünschten Spannung sowie ihrer „Welligkeit" (überlagerte restliche Wechselspannung). Bei gleichem Kondensator wird die Welligkeit kleiner, wenn man beide Halbwellen ausnutzt. Das kann bei mittelangezapftem Trafo durch zwei, bei einer einfachen Wicklung durch vier Gleichrichter (Graetz-Schaltung) geschehen. Ebenfalls beide Halbwellen werden in der Spannungsverdopplerschaltung ausgenutzt, jedoch gewissermaßen in Serie, so daß sich diese Schaltung bei Belastung wesentlich ungünstiger verhält. – Die Bekämpfung dieser Welligkeit (Brummspannung genannt) mit Hilfe von Siebketten und deren Berechnung in Abhängigkeit vom gewünschten Gleichstrom beschreibt für den Anfänger z. B. ⟨2⟩ im Abschnitt „Stromversorgung von funktechnischen Geräten".

Welligkeit

maximale Sperrspannung

Wichtig erscheint aber noch der Hinweis auf die an einem Gleichrichter bei Abschluß mit Kondensator auftretende maximale Sperrspannung. Fehlt die Last, so lädt sich der Kondensator auf den Scheitelwert der Wechselspannung auf. Das ist der etwa 1,4fache Betrag des üblichen Effektivwerts bei Sinusspannung. In der Sperrphase liegt also von der einen Seite diese Kondensatorspannung am Gleichrichter, während von der anderen Seite maximal (und kurzzeitig) der gleiche Wert, umgekehrt gepolt, anliegt. Damit wird der Gleichrichter aber mit $2 \times 1{,}4\ U_{eff}$ beansprucht, bei 220 V Wechselspannung also mit mehr als 600 V!

Spitzenstrom

Schließlich ist noch zu beachten, daß auch der Spitzenstrom durch den Gleichrichter wesentlich über dem im Verbraucher gemessenen mittleren Strom liegt (weil für einen bestimmten mittleren Gleichstrom über die gesamte Periode, z. B. bei Einweg-Gleichrichtung, ein entsprechend größerer über nur die halbe Periode geliefert werden muß, dessen Augenblickswert sich außerdem wegen der Sinusspannung noch ändert).

2.3.2. Transistoren

Schaltungsarten

Bild 6 zeigt die drei Grundschaltungsarten des Transistors und ihre wichtigsten Eigenschaften. Bild 7 faßt einige typische Anwendungen zusammen. Je nach Einsatzfall interessieren dabei bestimmte Eigenschaften des Transistors:

– Im NF-Vorverstärker braucht man geringes Rauschen und mittlere bis große Stromverstärkung;
– im Endverstärker dagegen interessiert die zulässige Verlustleistung;
– bei Gegentaktschaltungen muß man die Paarigkeitsbedingungen beachten;
– im HF-Verstärker ist neben der Grenzfrequenz (für die es mehrere Definitionen gibt) eine möglichst kleine innere Rückwirkung wichtig, damit die Stufe nicht ins Schwingen gerät;

– beim Oszillator für eine Festfrequenz muß bei dieser die Verstärkung des Transistors noch über 1 liegen, damit Selbsterregung möglich ist.

Arbeitspunkt

Stromverstärkungsfaktor

Bereits weiter oben wurde darauf hingewiesen, daß der Transistor, wenn das Ausgangssignal in der Form dem Eingangssignal entsprechen soll, einen bestimmten Arbeitspunkt braucht, der bei Vollaussteuerung in der Mitte des aussteuerbaren Bereichs liegen soll. Mit Hilfe eines Gleichstroms im Eingang wird also ein bestimmter Kollektorruhestrom eingestellt. Dieser richtet sich nach Kollektorwiderstand und Betriebsspannung. Für diese Betrachtungen soll die am häufigsten angewendete Emitterschaltung herangezogen werden. Ein Transistor in Emitterschaltung hat jedoch einen Stromverstärkungsfaktor, der unter 20, aber auch über 200 liegen kann. Das bedeutet ein Verhältnis von 10:1! Bei einer Batteriespannung von z. B. 4 V und einem Kollektorarbeitswiderstand von z. B. 4 kOhm fließt, wenn man den Transistor ausgangsseitig kurzschlösse, ein Strom von $\frac{4\ \text{V}}{4\ \text{kOhm}}$ = 1 mA, bei gesperrtem Transistor aber gar nichts. Der aussteuerbare Bereich würde also, wenn die Kniespannung und der Reststrom Null wären, seine Mitte bei 0,5 mA haben. Dieser Arbeitspunkt wäre einzustellen. Da der Kollektorstrom in Emitterschaltung etwa der Formel $I_C = \beta \cdot I_B$ entspricht (β = Stromverstärkung in Emitterschaltung), wäre bei $\beta = 20$ der 10fache Strom gegenüber $\beta = 200$ notwendig, um $I_C = 0{,}5$ mA in beiden Fällen zu erreichen.

Kleinsignal-Stromverstärkung

Großsignal-Stromverstärkung

Einstellung des Arbeitspunkts

β bedeutet genauer gesagt Kleinsignal-Stromverstärkung, d. h. für kleine Änderungen um den Arbeitspunkt, und wird heute fast nur noch mit h_{21e} gekennzeichnet, Großsignal-Stromverstärkung im Unterschied dazu mit B.

Da die Eingangskennlinie des Transistors der einer Diode in Durchlaßrichtung gleicht, ist jeweils ein bestimmter Eingangsstrom mit einer bestimmten Spannung verknüpft, wobei die Zuordnung wegen der „krummen" Kennlinie nicht dem Ohmschen Gesetz entspricht. Man kann also ebensogut von einer bestimmten Eingangsspannung ausgehen, wenn ein bestimmter Ausgangsstrom erreicht werden soll. Tatsächlich nutzt man in der Schaltungstechnik beide Möglichkeiten aus, wobei sich gleichzeitig noch gewisse Eigenschaften bezüglich Temperaturstabilisierung des Arbeitspunkts erzielen lassen. Die beiden Grundschaltungen für die Arbeitspunkteinstellung zeigt Bild 8. Beachtet werden muß, daß im Falle der Stromsteuerung der Vorwiderstand sehr viel größer (10fach und mehr) ist als der Eingangswiderstand des Transistors (sein Gleichstromwert laut Eingangskennlinie, also einfach $\frac{U}{J}$), während im Falle der Spannungssteuerung der untere Teilerwiderstand sehr viel kleiner (1/10 und weniger) sein soll als dieser Eingangswiderstand. Andernfalls liegt der Arbeitspunkt niedriger, als erwartet.

Stromsteuerung

Spannungssteuerung

Eingangskennlinien

Ausgangskennlinien

Über die Einzelheiten in Berechnung und Auswirkung für den Arbeitspunkt findet man in ⟨1⟩, das jeder ernsthafte Amateur besitzen sollte, genügend Ausführungen. Eine besonders einfache und in den Bauelementen sehr sparsame Möglichkeit der Arbeitspunkteinstellung, die gleichzeitig eine gewisse Temperaturstabilisierung ergibt (weil der Basisstrom sinkt, wenn der Reststrom steigt), veranschaulicht Bild 9.

Sehr verschieden von den Gleichstromdaten des Transistors können die Wechselstromdaten sein. Das hängt mit der Krümmung von Eingangs- und I_B/I_C-Kennlinie zusammen, außerdem natürlich mit dem Verlauf der Ausgangskennlinien in Abhängigkeit von Eingangsstrom und Kollektorspannung (vgl. Bild 2). Bei Kleinsignalaussteuerung fährt man immer nur ein kleines Kennlinienstück um den Arbeitspunkt ab, nie aber bis Null. Dadurch sind die bei Wechselaussteuerung wirksamen Widerstände meist erheblich größer als die Gleichstromwerte $\frac{U}{J}$. Die Stromverstärkung ist ebenfalls arbeitspunktabhängig, so daß man auch von Kleinsignal- und von Großsignal-Stromverstärkung spricht. Je nach Einsatzfall ist die eine oder die andere Größe interessant. Danach richtet sich das Meßverfahren.

2.4. Toleranzen und „Ausschuß"

Man könnte die Herstellung von Transistoren als einen Prozeß bezeichnen, bei dem zwar bestimmte Eigenschaften angestrebt werden, als dessen Ergebnis jedoch ein ganzes Spektrum von Bauelementen entsteht, deren Daten um gewisse Sollwerte streuen. Aus diesen sortiert man alle Exemplare aus, die immerhin eine Reihe von Daten erfüllen, die der Anwender fordert. Dabei läßt man noch einen bestimmten Streubereich innerhalb der einzelnen Parameter zu. Ein Prozentsatz der Bauelemente besitzt allerdings nicht alle laut Katalog garantierten Werte, kann also keinem Typ zugeordnet werden. Das ist für den Hersteller bereits „Ausschuß". In dem Augenblick aber, da der Anwender diese Daten selbst messen kann und sie damit kennt, weiß er auch, wo er diese „Ausschuß"-Halbleiter noch günstig einsetzen kann. Doch auch in den Fällen, wo er zum Markentransistor greift, empfiehlt es sich, diesen vor dem Einbau zu messen, besonders bei älteren Exemplaren (mögliche Undichtigkeiten!). Somit gibt der Bauplan auch für diese Typen Meßmöglichkeiten.

3. Messungen an Transistoren und Dioden

3.1. Für den Amateur interessante Daten

3.1.1. Gleichrichter

Sperrwiderstand

Zunächst will man wissen, ob das Bauelement überhaupt funktioniert. Das bedeutet beim Gleichrichter, daß er in Sperr- und in Durchlaßrichtung möglichst unterschiedlichen Widerstand zeigt, wenn man z. B. mit der gleichen Spannung mißt. Jedes Ohmmeter genügt, um das festzustellen. Diese Instrumente arbeiten mit Spannungen zwischen 1,5 und 4,5 V; der Gleichrichter ist als funktionsfähig anzusehen, wenn man bei diesen Spannungen einen Sperrwiderstand von möglichst weit über 50 kOhm bei der Bauform SY 100 (1-A-Siliziumgleichrichter), 20 kOhm bei den Bauformen GY 100 und 110 sowie 1 kOhm bei der Bauform GY 120 (10-A-Germaniumgleichrichter) antrifft. Das sind selbstverständlich nur ganz grobe Richtwerte. Bei höheren Spannungen bleibt der Sperrstrom zunächst konstant, bis schließlich das Durchbruchsgebiet erreicht wird. Es ist daher für genauere Messungen sinnvoller, mit einem Strommesser entsprechenden Bereichs (unterster Bereich möglichst 100 μA) bei verschiedenen Spannungen den Sperrstrom festzustellen (Genaueres unter 4.1.4.).

Sperrstrom

In Durchlaßrichtung soll das Ohmmeter bei 1,5 V Betriebsspannung in der obengenannten Reihenfolge bei den ersten Gleichrichtern möglichst weniger als 5 Ohm, bei 10-A-Ge-Gleichrichtern jedoch möglichst weniger als 1 Ohm anzeigen (was sich mit einem üblichen Ohmmeter nicht mehr unterscheiden läßt). Hier ist es besser, feste Ströme einzuspeisen und die Spannungsabfälle an den Dioden zu messen (auch dazu mehr unter 4.1.4.).

Kühlfläche

Umgebungstemperatur

Da die Grenzdaten auch einwandfreier Halbleiterbauelemente bei manchen Typen nur mit Kühlfläche erreichbar sind, ohne daß sie zerstört werden, hat man die entsprechenden Werte zu berücksichtigen, ebenfalls die Umgebungstemperatur (Bild 10; für Transistoren siehe Bild 11). Grundsätzlich ist der zulässige Strom ab 45 °C zu reduzieren: Er wird Null bei 75 °C für Germaniumgleichrichter, für Siliziumgleichrichter bei 100 °C.

3.1.2. Transistoren

Auch beim Transistor kann man zunächst prüfen, ob die beiden „Teildioden" noch in Ordnung sind. Das muß aber bei Strömen und Spannungen geschehen, die der Transistor noch verträgt, also eingangsseitig unter 0,5 mA für Vorstufen- und Kleinleistungstransistoren, unter 100 mA für Leistungstransistoren. In allen Fällen liegen dann an der Eingangsstrecke zwischen 100 und 500 mV (mehr darf Drifttransistoren – GF 120 . . . 122 und OC 880 . . . 883 – nicht zugemutet werden).

Leerlauf

Kurzschluß

Bild 12 deutet eine ganz einfache Schaltung an, mit der man zumindest zwischen „Leerlauf" (also Unterbrechung) und Kurzschluß zwischen den Transistorelektroden unterscheiden kann. Diese Schaltung ist so bemessen, daß der Transistor keinesfalls beschädigt wird.

Die Prüfung der Ausgangsstrecke in Sperrichtung kommt einer Reststrommessung gleich. Am wichtigsten aber ist, daß man für jeden Transistor die Stromverstärkung in Emitterschaltung kennt.

Rauschen

Besonders für Vorverstärker ist eine überschlägige (vergleichende) Feststellung des Eigenrauschens sehr nützlich. Das geschieht am besten in einer Schaltung, die den Prüfling als erste Stufe enthält und die man im übrigen wie einen üblichen NF-Verstärker dimensioniert. Dabei läßt sich individuell abschätzen, ob der Rauschpegel noch zu vertreten ist. Man kann zu stark rauschende Exemplare dann eventuell eine Stufe „weiter hinten" (Richtung Lautsprecher) versuchsweise einsetzen und auf diese Weise auch für stärker rauschende Exemplare noch Einsatzmöglichkeiten finden, abgesehen von den in 8. angedeuteten.

Pärchenauslese

Bei der Auslese von Pärchen für Endstufen müssen nicht nur die Stromverstärkungen für die verschiedenen Arbeitspunkte möglichst gut übereinstimmen, sondern auch die Eingangskennlinien. Das heißt, für einen bestimmten Kollektorstrom sollen auch die Basisspannungen möglichst gleich sein (die Basisstromgleichheit wird ja bereits durch die Stromverstärkungsbedingung erzwungen).

Wechselstromtest

Gleichstrommessungen reichen da vollauf, wo der Transistor tatsächlich nur wegen seiner Gleichstromdaten gebraucht wird. Das ist bezüglich des Arbeitspunkts natürlich auch in Wechselstromverstärkern der Fall. Den praktischen Betrieb in diesen bildet eine Messung mit Wechselstrom allerdings besser nach; denn dabei kann man durch Verändern der Steueramplitude bei beliebigen Arbeitspunkten dem Transistor alle Eigenschaften „entlocken". Dem steht aber der größere Aufwand gegenüber, der bereits beim Erzeugen der Steuerwechselspannung beginnt.

HF-Eigenschaften

Am schwierigsten im Aufbau und in der Beurteilung der Ergebnisse sind schließlich HF-Meßschaltungen, bei denen es gilt, Schwingeigenschaften und HF-Verstärkereigenschaften zu testen. Im angebotenen Transistorsortiment befinden sich aber HF-Transistoren, deren Grenzfrequenz in weiten Grenzen liegen kann. Hier wird dieser Bauplan

leider wenig helfen, denn das sprengt seinen Rahmen. Andererseits dürfte die Anwendung von Transistoren in Mischschaltungen und ZF-Verstärkern dem Fortgeschrittenen vorbehalten sein. In Audionschaltungen dagegen wird der Anfänger auch mit „fragwürdigen" HF-Typen zum Erfolg kommen können, und darauf nimmt der Bauplan Rücksicht.

3.2. Industrielle Meßgeräte

Neben größeren Meßgeräten für die Bestimmung der Transistorparameter gibt es einige einfach zu handhabende, relativ preiswerte Tester, deren Anschaffung zumindest den größeren Radioklubs zu empfehlen ist. Da Teilnehmer an Arbeitsgemeinschaften Gelegenheit haben, mit diesen Geräten zu messen, kurz einige Worte dazu.

Arbeitsfolge bei Gleichstromtestern

Am verbreitetsten dürfte das „Transivar I" des VEB Funkwerk Erfurt sein. Beim Testen von Dioden wird zunächst auf Diode geschaltet. Dann schließt man das Prüfexemplar an den entsprechend gekennzeichneten Buchsen an und schaltet das Gerät rechts oben ein. Außerdem drückt man die Taste I'_{CO} (entspricht I_{CEO}). Je nach Schalterstellung (pnp oder npn) zeigt sich nun nahezu kein Ausschlag (Sperrichtung) oder ein im schwarzmarkierten Bereich liegender Ausschlag (Durchlaß). Ist das beide Male der Fall, so liegt Kurzschluß vor. Zeigt sich beide Male nichts, dann ist die Diode unterbrochen.

Auch beim Testen von Transistoren schaltet man zunächst auf Diode, damit ein Exemplar mit kurzgeschlossener Kollektor-Emitter-Strecke das Gerät nicht beschädigt. Erst wenn der Ausschlag den schwarzgekennzeichneten Bereich nicht erreicht, darf auf Transistor umgeschaltet werden. Der Transistor wird selbstverständlich an die dafür vorgesehenen Anschlüsse gelegt. Bei unserem Sortiment ist immer auf „pnp" zu schalten. Nun drückt man der Reihe nach von links nach rechts die einzelnen Tasten und bedient zwischendurch die entsprechenden Regler:

Reststrom

Stromverstärkung

- I'_{CO} -Taste – Reststrom (Vollausschlag 1 mA) notieren;
- Kompensationstaste – mit Kompensationsregler Zeigerausschlag auf Null bringen;
- I_C-Taste – mit I_C-Regler Arbeitspunkt 1 mA einstellen (Vollausschlag);
- h_{21e}-Taste (ß) – Stromverstärkung ablesen.

Falls bei Taste I Ausschlag zu weit links liegt, zwecks genauer Messung Taste II drücken und auf Skala II ablesen.

Falls bei I'_{CO} -Messung Zeiger langsam nach rechts wandert, ist das Exemplar instabil und damit ungeeignet. Schwankender Ausschlag deutet auf Kontaktierungsfehler; auch diese Transistoren sind ungeeignet. Ausschlag auf Skala I zu weit rechts bedeutet zu niedrige Stromverstärkung; Ausschlag auf Skala II weit links dagegen eine sehr hohe. Meist läßt sich in solchen Fällen mit dem I_C-Regler gar nicht mehr auf 1 mA Kollektorstrom herunterregeln. Solche Exemplare sind nur dann geeignet, wenn ihr Reststrom nicht zu hoch ist.

Der einfachen Handhabung des Transivar I steht der Nachteil gegenüber, daß es nur für einen festen Arbeitspunkt (nämlich 1 mA Kollektorstrom) eingerichtet ist. Das Transivar II dagegen, das auch Leistungstransistoren zu testen gestattet, bietet verschiedene Arbeitspunkte an. Dafür ist die Bedienung etwas umständlicher, und die Kompensation fehlt (Benutzungshinweise siehe Gerätebeschreibung). Die Vorstellung der Arbeitsgänge beim Transivar I geschah nur deshalb an dieser Stelle, weil die Reihenfolge typisch für Gleichstromtester ist.

Pärchenauslese

Übrigens kann – zumindest für einen Arbeitspunkt – mit dem Transivar I auch Pärchenauslese erfolgen: Nach beendeter ß-Messung schaltet man ein möglichst hochohmiges Instrument (z. B. 100-kOhm/V-Vielfachmesser der EAW) parallel zur Basis-Emitter-Strecke (Bereich 300 mV, Plus an Emitter). Dann wird nochmals kompensiert und wieder auf 1 mA Kollektorstrom eingestellt. Die nun auftretende Basis-Emitter-Spannung ist zu notieren; sie dient als Auslesekriterium für Pärchen bei Endstufen kleiner Leistung. Sinngemäß (bis auf die fehlende Kompensation) kann bei verschiedenen Arbeitspunkten auch mit Transivar II in dieser Weise verfahren werden.

3.3. Möglichkeiten für den Selbstbau von Testgeräten

Außer auf die jeweils zu messende Größe kommt es darauf an, mit welcher Genauigkeit gemessen werden soll, denn danach richtet sich der Aufwand für den Tester. Vergegenwärtigt man sich, daß die dem Amateur zur Verfügung stehenden Widerstände meist Toleranzen von 10 oder 20 % aufweisen, so ist es klar, daß eine Bestimmung von Transistordaten auf z. B. 5 % genau nicht notwendig ist. Bedenkt man weiter, daß eine Bastelschaltung in den wenigsten Fällen bis ins letzte genau durchgerechnet wird, daß man also von vornherein auf das Ausschöpfen aller Möglichkeiten verzichtet (etwa Aussteuerbereich), so reduzieren sich die Anforderungen an einfache Testgeräte erheblich. Viel wichtiger ist es, daß man sich einigermaßen darauf verlassen kann, daß gleiche Exemplare auch tatsächlich gleiche Anzeigewerte liefern, daß man sie also (für Pärchenauslese oder Austausch) miteinander vergleichen kann.

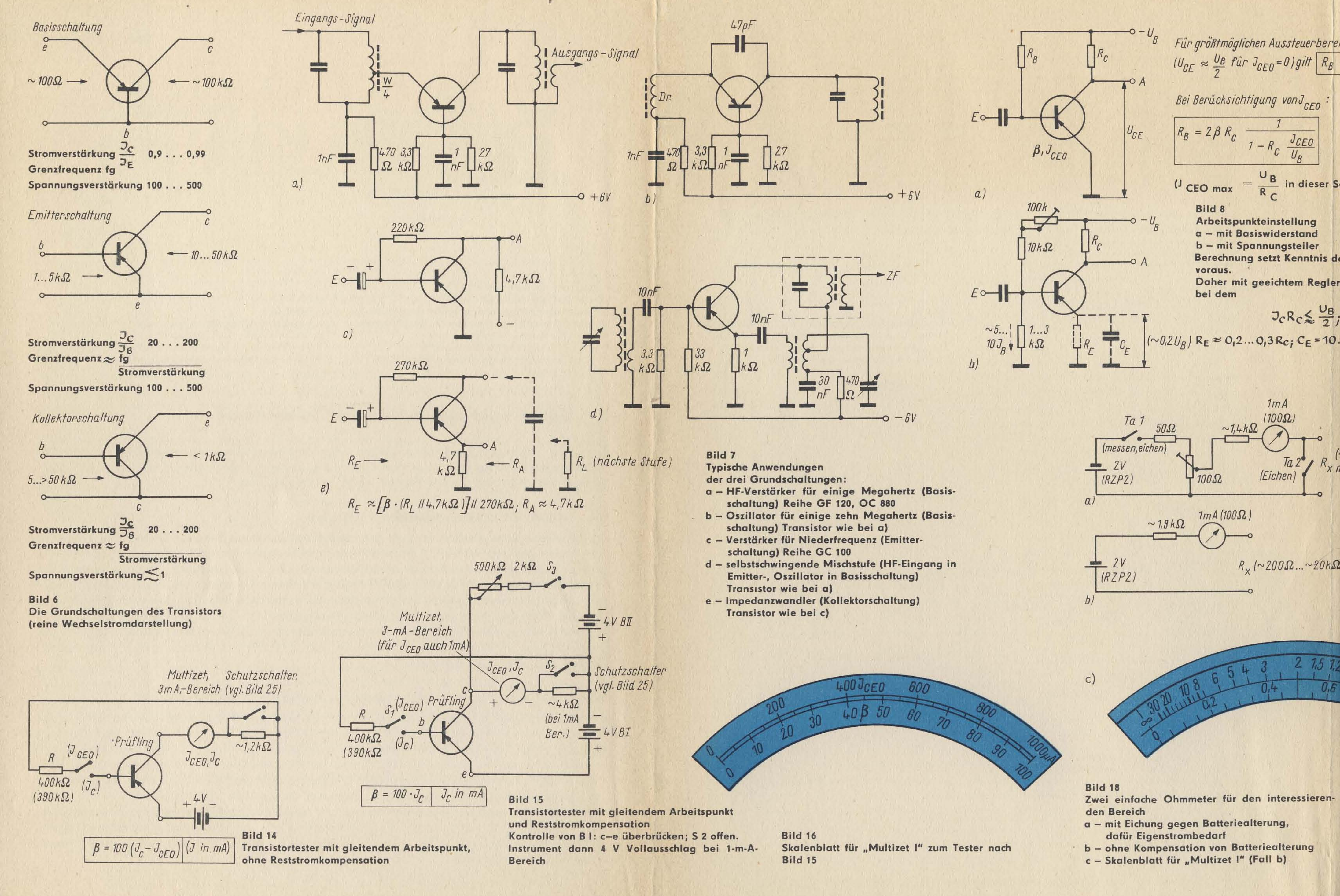


Bild 6
Die Grundschaltungen des Transistors (reine Wechselstromdarstellung)

Bild 7
Typische Anwendungen der drei Grundschaltungen:
- a – HF-Verstärker für einige Megahertz (Basisschaltung) Reihe GF 120, OC 880
- b – Oszillator für einige zehn Megahertz (Basisschaltung) Transistor wie bei a)
- c – Verstärker für Niederfrequenz (Emitterschaltung) Reihe GC 100
- d – selbstschwingende Mischstufe (HF-Eingang in Emitter-, Oszillator in Basisschaltung) Transistor wie bei a)
- e – Impedanzwandler (Kollektorschaltung) Transistor wie bei c)

Bild 8
Arbeitspunkteinstellung
a – mit Basiswiderstand
b – mit Spannungsteiler
Berechnung setzt Kenntnis d
voraus.
Daher mit geeichtem Regler
bei dem

Bild 14
Transistortester mit gleitendem Arbeitspunkt, ohne Reststromkompensation

Bild 15
Transistortester mit gleitendem Arbeitspunkt und Reststromkompensation
Kontrolle von B I: c–e überbrücken; S 2 offen. Instrument dann 4 V Vollausschlag bei 1-m-A-Bereich

Bild 16
Skalenblatt für „Multizet I" zum Tester nach Bild 15

Bild 18
Zwei einfache Ohmmeter für den interessierenden Bereich
- **a – mit Eichung gegen Batteriealterung, dafür Eigenstrombedarf**
- **b – ohne Kompensation von Batteriealterung**
- **c – Skalenblatt für „Multizet I" (Fall b)**

rbereich

t $R_B \approx 2\beta R_C$

$_{EO}$:

eser Schaltung)

ng
nd
ler
tnis der Eingangskennlinie

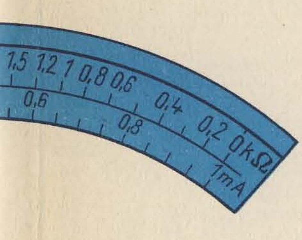
Regler R_B feststellen,

$\lessapprox \frac{U_B}{2}$;

$_E$ = 10...50 μF

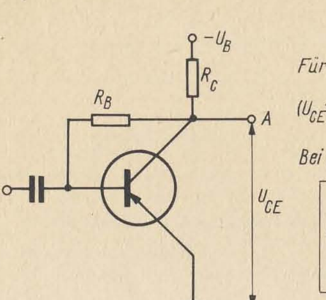
(~ 150Ω ... ~ 15kΩ R_x meßbar)

~20kΩ meßbar)



ieren-

g



Für größtmöglichen Aussteuerbereich

$(U_{CE} \approx \frac{U_B}{2}$ für $J_{CEO} = 0$ gilt $\boxed{R_B \approx \beta R_C}$

Bei Berücksichtigung von J_{CEO}:

$$R_B = \beta R_C \frac{1 - R_C \frac{J_{CEO}}{U_B}}{1 + R_C \frac{J_{CEO}}{U_B}}$$

Bild 9
Arbeitspunkteinstellung
mit Stabilisierungswirkung (bezüglich I_{CEO} max vgl. Bild 8a)

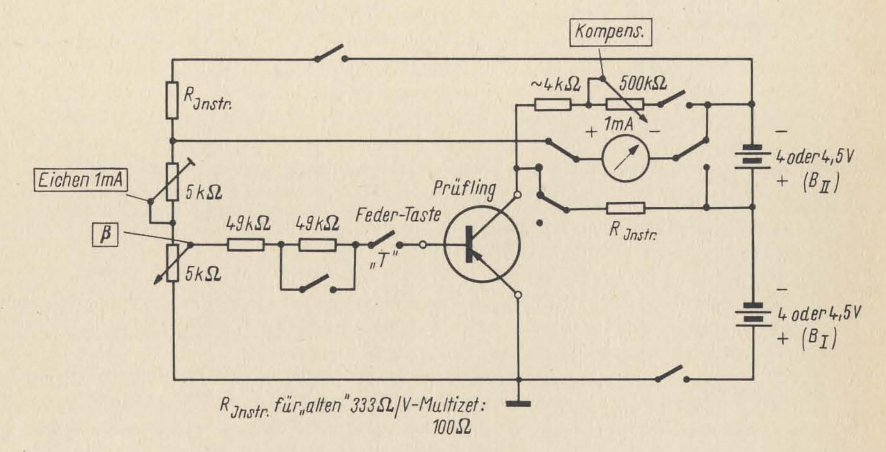
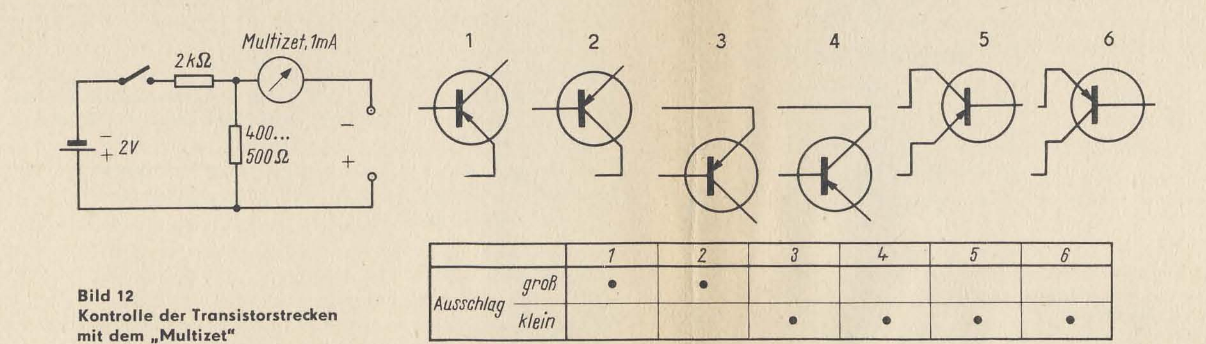


Bild 17
Transistortester mit festem Arbeitspunkt und Reststromkompensation;
Ablesen von β an geeichtem Potentiometer



		1	2	3	4	5	6
Ausschlag	groß	•	•				
	klein			•	•	•	•

Bild 12
Kontrolle der Transistorstrecken mit dem „Multizet"

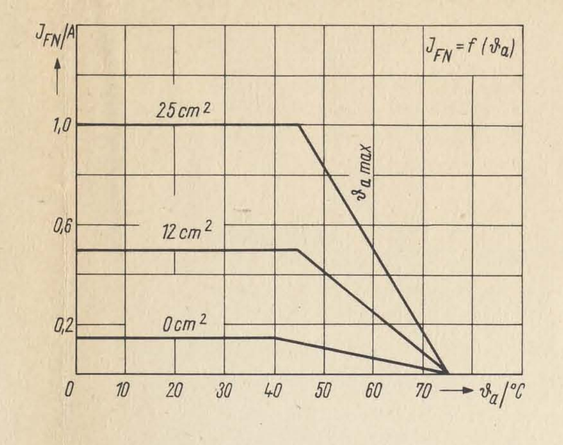


Bild 10
Maximaler Durchlaßstrom von 1-A-Ge-Flächengleichrichtern in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur bei verschiedenen Kühlflächen

a) 250 / 200 / 150 / 100 / 50 — 25cm², 9cm², 4cm², ideale Wärmeableitung, mit Kühlschwelle, freitragend — 20, 30, 40, 50, $\vartheta_a/°C$ 80

b) P/W — 2,5 / 2,0 / 1,5 / 1,0 / 0,5 / 0 — F = 50cm², F = 100cm², F = 25cm², Kühlbleche, Alu 2mm vertikale Lage, blank — 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, $\vartheta_a/°C$

Bild 11
Zulässige Verlustleistung eines Transistors in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur für verschieden gute Kühlung (Blech 2 mm Al, senkrecht montiert)
a – Reihe GC 120, b – Reihe GD 100

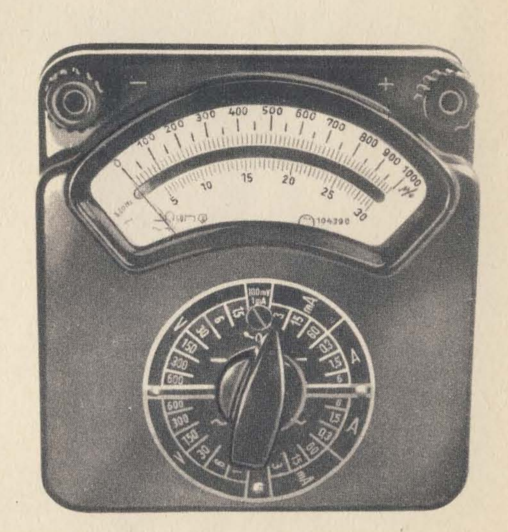


Bild 13
Der noch weitverbreitete Vielfachmesser „Multizet I" – kleinster Meßbereich 100 mV/1 mA – mit Hilfsskala für diesen Bereich (vgl. Bild 16)

4. Tester mit Gleichstrom

4.1. Zusatz zum „Multizet"

Der Begriff „Multizet" stehe hier für alle Vielfachmesser mit Gleichstrombereich 1 oder 1,5 mA als unterer Mindestgrenze (Bild 13 zeigt das Ursprungsgerät). Das Meßergebnis weicht um so mehr vom theoretischen „Kurzschlußwert" ab, je höher ohmig dieser Meßbereich beim gegebenen Vielfachmesser ist. Mit diesem Instrument, einer Batterie und einigen Schaltern sowie Widerständen sind in jedem Falle Messungen von Reststrom und Stromverstärkung möglich. Zuverlässigkeit der Meßwerte und Aufwand bedingen sich gegenseitig.

4.1.1. Tester für β mit gleitendem Arbeitspunkt und für I_{CEO}

Bei diesem Tester wird sowohl die Abhängigkeit des β-Wertes vom Arbeitspunkt als auch die Abhängigkeit des Eingangsstroms vom Eingangswiderstand (wenn der Vorwiderstand diesem gegenüber nicht mehr groß genug ist) vernachlässigt. Allerdings berücksichtigt man diese Tatsachen insofern, als nur relativ kleine Basisströme (mit genügend hochohmigem Vorwiderstand) eingespeist werden. Der Tester eignet sich in der vorgestellten Form hauptsächlich für die Beurteilung von Vorstufentransistoren mit kleiner Aussteuerung.

4.1.1.1. Tester ohne Kompensation des Reststroms

Eigentlich sollte von dieser primitivsten Form abgeraten werden, weil ihr Nutzen besonders bei großen Restströmen sehr umstritten ist. Es kommt dann sehr darauf an, welcher Meßbereich gewählt wird, wenn bei einer bestimmten Einspeisung bei gleichzeitig hohen Werten von β und I_{CEO} überhaupt noch eine Messung möglich sein soll. Das Prinzip (das auch beim nächsten Tester angewendet wird) ist folgendes: Zunächst bleibt die Basis offen, und nach Einschalten der Batterie mißt man den Reststrom, dessen Wert man notiert. Danach wird ein fester Basisstrom eingespeist (wobei man voraussetzt, daß bei diesem Strom der Gleichstromwiderstand der Strecke Basis–Emitter noch genügend klein gegenüber dem Vorwiderstand ist; dann gilt $I_B = \frac{U}{R}$; U ist die Batteriespannung). Jede Änderung der Batteriespannung geht also in das Meßergebnis ein. Daher sollte man sie entweder öfter mit dem Multizet kontrollieren oder Kleinakkus verwenden, deren Spannung über längere Zeit ihren Wert behält; die Kontrolle erfolgt dann jeweils nach längeren Pausen oder nach einer größeren Anzahl von Messungen.
Bild 14 gibt ein Beispiel für einen solchen Tester mit den entsprechenden Daten. Die Stromverstärkung erhält man aus beiden Meßergebnissen (aus I_{CEO} und dem bei Basisstromeinspeisung fließenden $I_{C\beta} + I_{CEO}$) nach folgender Rechnung: $\beta = \frac{R}{U} (I_C - I_{CEO})$.

4.1.1.2. Tester mit Reststromkompensation

Der Aufwand für diese Maßnahme ist gering, der Nutzen aber groß. Es wird jetzt möglich, die Skala des Meßinstruments direkt in β-Werten zu eichen bzw. beim Multizet ein entsprechend beschriftetes Blatt aufzulegen (dem Skalenbogen angepaßt zurechtgeschnitten). Damit fällt alles Rechnen weg; das ist nur einmal beim Zeichnen dieser Hilfsskala notwendig. Allerdings benötigt dieser Tester einen weiteren Schalter, der jedoch beispielsweise am Kompensationsregler angebracht sein kann (Potentiometer mit Schalter). Man darf ihn dann aber nicht vergessen, wenn abgeschaltet wird oder wenn das nächste Exemplar zu messen ist. Bei dieser Lösung bewährt sich daher bereits ein Tastenschalter, da er die einzelnen Operationen zwangsweise vorschreibt (vgl. Abschnitt „Praktischer Aufbau", Bild 29).
Bild 15 zeigt einen Schaltungsvorschlag. Bedient wird auf folgende Weise: Basis und Kompensationskreis offen – Reststrommessung nach Einschalten der Batterie (und Schließen des Schutzschalters, wenn Ausschlag genügend unter Vollausschlag, sonst Defekt! s. 4.3.); Kompensationskreis schließen – mit Regler Instrumentenausschlag auf Null bringen (jetzt fließt zwar noch der Reststrom durch den Transistor, durch das Instrument aber außerdem ein gleich großer Gegenstrom, der den Ausschlag aufhebt); Basiskreis schließen – Stromverstärkung im Bereich 1 oder 3 mA (am Multizet umschalten) ablesen. Dazu muß die Skala für 1 mA so geeicht werden, wie es Bild 16 für den Fall nach Bild 15 zeigt. Für andere Basisvorwiderstände und Spannungen gilt allgemein $\beta = I_C \cdot \frac{R}{U}$. Man setzt wieder zweckmäßig R in kOhm und damit zwangsläufig I in mA ein, wenn U in V angegeben wird. Im 1-mA-Bereich läßt sich so β bis 100, im 3-mA-Bereich bis 300 messen (hierbei 30er Skala direkt benutzbar, Faktor 10).
Kontrolle von BI s. Bild, BII-Erschöpfung erkennt man einfach daran, daß nicht mehr kompensiert werden kann.

4.1.2. Tester für β mit festem Arbeitspunkt und für I_{CEO}

Diese Schaltung unterscheidet sich von den bekannten Testern, die alle einen definierten Arbeitspunkt vorgeben (wodurch bessere Vergleichsmöglichkeit gegeben ist), dadurch, daß sie weiterhin mit einem unempfindlichen Instrument (1 mA) auskommt. Allerdings wird auch nicht unmittelbar am Instrument angezeigt, denn dafür würde man ein 100-μA-Meßwerk brauchen (s. u.). Dieser Tester ist also für viele aus Beschaffungs- bzw. Preisgründen bezüglich des Instruments leichter aufzubauen. Das Prinzip besteht sowohl für die einen als auch für diese anderen Tester mit festem Arbeitspunkt darin, daß immer gerade soviel Basisstrom eingespeist wird, wie für 1 mA Kollektorstrom (bei Kleinleistungstypen) notwendig ist. Während aber bei Industriegeräten dann der (oft sehr kleine) Basisstrom gemessen wird und durch entsprechende Skaleneichung als β zur Anzeige gelangt, dient im vorliegenden Falle die Stellung eines Potentiometers als Maß für β. Dieses Potentiometer gestattet es, den für 1 mA nötigen Basisstrom einzustellen. Bild 17 zeigt das Prinzip dieses Testers, bei dem die I_{CEO} -Messung wie üblich geschieht und der selbstverständlich wieder mit Reststromkompensation arbeitet. Er enthält noch einige Besonderheiten, die kurz angedeutet werden sollen. Zunächst wird dafür Sorge getragen, daß die Alterung der Batterie das Meßergebnis nicht beeinflußt. Zu diesem Zweck ist eine Schalterstellung „Eichen" vorgesehen, die stets für einen konstanten Teilerstrom sorgt, denn andernfalls würde der Basisvorwiderstand je nach Batteriealter bei gleicher Potentiometerstellung verschiedene Ströme fließen lassen. Der Teiler selbst muß so beschaffen sein, daß die rechnerisch am Schleifer des Potentiometers auftretende Spannung, aus der ja über $\frac{U}{R}$ wieder der Basisstrom resultiert, auch bei Belastung durch diesen Basisstrom noch vorhanden ist. Bekanntlich fließt im oberen Teilwiderstand nicht nur der Teilerstrom, sondern eben auch dieser Basisstrom. Durch ihn fiele jetzt oben ein größerer Teil der Gesamtspannung ab als ohne Belastung, so daß an R weniger U verbliebe, die Basis also einen kleineren Strom enthielte. Daher gilt die Regel: Der Teilerstrom betrage möglichst das Zehn- (oder Mehr-)fache des „Laststroms" (in unserem Falle des Basisstroms). Im vorliegenden Falle kann man dies auch durch das Verhältnis der Widerstände ausdrücken: Der Widerstand zwischen Teiler und Basis muß mindestens zehnmal so groß sein wie der maximale untere Teilerwiderstand (also wie hier das Potentiometer). Die Grenzen der Dimensionierung werden deutlich bzw. man benötigt zur Erfüllung dieser Forderung für einen gewünschten Basisstrom eine Mindestgesamtspannung. Unterhalb dieser Spannung steigen die Fehler der Messung erheblich, falls man nicht mit entsprechender (nicht mehr linearer) Eichung des Potentiometers einen Ausgleich schafft, der aber wiederum die Eichung des Teilerstroms bei alternder Batterie in Frage stellt. Es empfiehlt sich daher, möglichst die in Bild 17 gegebenen Werte einzuhalten. – Die Potentiometereichung selbst geht in folgender Weise vor sich: Anlegen der Batteriespannung an den gesamten Teiler des bereits gebauten Geräts. Mit Multizet (Bereich 1 mA) und Eichregler Teilerstrom von 1 mA einstellen. An Stelle des Multizet Ersatzwiderstand legen, der dem Widerstand des Bereichs 1 mA entspricht, sonst wird der Strom ohne Instrument größer. Jetzt muß die Spannung am Schleifer gegen Fußpunkt in Abhängigkeit von der Schleiferstellung ermittelt werden. Erinnern wir uns der Ausführungen betr. des Teilers, so müssen wir feststellen, daß dafür das 333-Ohm/V-Multizet nicht geeignet ist! Sein Eigenverbrauch in den Bereichen ab 1,5 V beträgt bei Vollausschlag 3 mA (Kehrwert von 333 Ohm/V!), der Teilerstrom selbst jedoch nur 1 mA! Für diese Eichung wird also ein Instrument von 100 μA (= 0,1 mA = $^1/_{10}$ des Teilerstroms) gebraucht oder ein besseres (z. B. 50 μA). 50 μA bedeutet aber 20 kOhm/V, ein bei den modernen Vielfachmessern

von Elektro-Apparatewerke-Treptow und Meßtechnik Mellenbach (früher Gerätewerk Karl-Marx-Stadt) üblicher Wert. Ein solcher Vielfachmesser dürfte in jedem Radioklub leihweise zur Verfügung stehen. Ist es nicht möglich, kurzzeitig ein solches Instrument zu benutzen, so geht man folgenden Weg: Zwar beträgt der Nennwiderstand des Potentiometers 5 kOhm, doch kann er ebensogut bei 4,5 kOhm liegen wie bei 5,5 kOhm. Außerdem ist der Verlauf nie genau linear über den Drehbereich. Mindestens das muß aber vereinfachend angesetzt werden. Der Drehbereich wird nun mit dem Winkelmesser festgestellt. Anfangs- und End-„Sprungwert" sind davon auszuklammern. Dieser Sprung stellt den Übergang von der höher ohmigen Kohleschicht auf die Kontaktierungsfläche dar, die der Schleifer am Schluß überstreicht, ohne daß sich dabei noch eine merkbare Widerstandsänderung ergibt. Dieses Stück liefert daher auch keinen Beitrag zum Regelbereich. Selbstverständlich kann man statt des Kohleschichtpotentiometers auch ein Drahtpotentiometer verwenden, doch sind diese schwerer zu beschaffen. Bei ihnen ist die Linearität über den Bereich besser, während am Rand ebenfalls zwischen Regelbereichende und Anschlag unterschieden werden muß. Der Widerstand zwischen Schleifer und Anfang läßt sich aber auch mit einem aus dem Multizet I gewonnenen Ohmmeter feststellen, für das Daten und Skalenblatt (wieder Maßstab 1:1) Bild 18 zeigt. Es ist auch anderweitig verwendbar (vgl. ⟨2⟩).

Liegt nun die Abhängigkeit der Spannung bzw. des Widerstands von der Schleiferstellung fest (ermittelt mit Zeigerknopf und hinterlegter Skala oder mit runder Scheibe, am Knopf befestigt), so kann anschließend die Potentiometerskala unmittelbar in Einheiten der Stromverstärkung geeicht werden. Das geschieht nach folgenden Beziehungen:

R_T ist der jeweilige untere Teilerwiderstand des Potentiometers, an dem $U_T = R_T \cdot 1$ mA abfällt. Wie diese einfache Beziehung zeigt, fließt durch R_V (wenn der Transistoreingangswiderstand Null wäre) ein Strom

$$I_B = \frac{U_T}{R_V} = \frac{R_T \cdot 1\,\text{mA}}{R_V}$$

(U in V, R in kOhm und I in mA).

Da in diesem Tester β dadurch ermittelt wird, daß man am Potentiometer jeweils einen Basisstrom abgreift, der ein I_C von 1 mA ergibt (Anzeige mit Multizet im Kollektorkreis), bedeutet das

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{R_T \cdot 1\,\text{mA}}{R_V}$$

und wegen $I_C = 1$ mA

$$\frac{1\,\text{mA}}{\beta} = \frac{R_T \cdot 1\,\text{mA}}{R_V} \quad \text{oder } \beta = \frac{R_V}{R_T}.$$

Wegen $R_T = \frac{U_T}{1\,\text{mA}}$ kann man ebensogut rechnen $\beta = \frac{R_V}{U_T}$, wobei wieder R_V in kOhm eingesetzt werden muß und U in V.

Die Genauigkeit wird besser, wenn man die Tatsache berücksichtigt, daß an der Basisstrecke durch ihren Widerstand im Durchschnitt etwa 0,1 V abfällt, was U_T entgegenwirkt. Daher kann man genauer sagen $\beta = \frac{R_V}{R_T - 0{,}1}$, wobei die Widerstände wieder in kOhm eingesetzt werden müssen. Auf die Ableitung sei verzichtet; diese einfache Beziehung ergibt sich aus der Wahl von jeweils 1 mA sowohl für den Teiler als auch für den Kollektorstrom. Überhaupt muß man

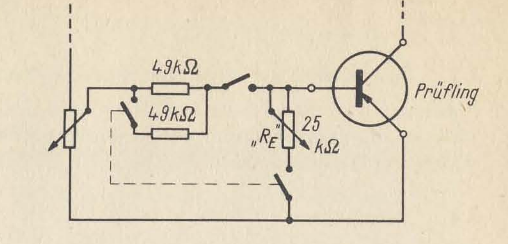


Bild 19
Zusatz für Schaltung nach Bild 17 zur Pärchenauslese

die eben abgeleiteten Gleichungen nicht unbedingt sofort einsehen, denn die Schlußfolgerungen aus ihnen fanden in der nachbaufähigen Schaltung (Bild 17) ihren Niederschlag.

Es bleibt nun noch R_V festzulegen. Der niedrigste β-Wert wird durch ihn und durch den Gesamtwiderstand des Potentiometers bestimmt, der wiederum von der Batteriespannung und ihrer Alterung abhängt, was den notwendigen Eichreglerbereich vorschreibt, wenn die Forderung 1 mA Teilerstrom eingehalten werden soll. Für ein kleinstes β von 10 und einen Potentiometerwiderstand von 5 kOhm erhält man $R_V = \beta R_T = 50$ kOhm oder genauer (s. o.) 49 kOhm. Da ein übliches Potentiometer wegen des Anfangssprungwerts nur bis etwa 10 % seines Wertes genügend reproduzierbar ist, wird so $\beta_{max} = 100$. Daher empfiehlt sich noch ein zweiter Bereich mit β von 20 bis 200, also mit $R_V = 98$ kOhm.

Das vollständige Gerät – eine zweckmäßige Drucktastenlösung zeigt Bild 29 b – ist folgendermaßen zu bedienen (jede Taste schaltet gleichzeitig die Batterien ein):

Taste 1 – Reststrommessung bei offenem Basiskreis

Taste 2 – Kompensation der Reststromanzeige mit Regler 500 kOhm

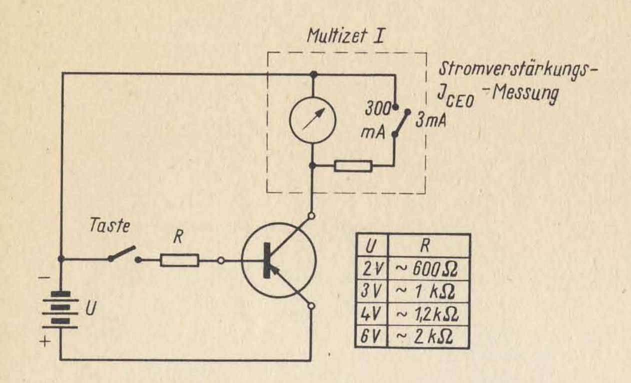
Taste 3 – Teilereichung auf 1 mA mit oberem 5-kOhm-Regler

Taste 4 – Einspeisung des Basisstroms über 98 kOhm und Abgleich des zunächst auf kleinstem Widerstands-, d. h. größtem β-Wert stehenden Potentiometers auf 1 mA Kollektorstrom.
Liegt β unter 100, dann Regler wieder auf halben Wert und Taste 5 drücken: Erneut auf 1 mA einregeln und β an Skala 10 . . . 100 ablesen. Taste auslösen, so daß Gerät abgeschaltet wird.

Bild 19 zeigt schließlich noch einen Zusatz für die Pärchenauslese, sofern man sich mit Paarigkeit bei 1 mA Kollektorstrom zufriedengibt und bedenkt, daß nur die Gleichheit des Gleichstromwerts von R_{BE} festgestellt werden kann. Ein zweites lineares und in Widerstandswerten geeichtes Potentiometer wird nach der β-Messung bei unveränderter Stellung des β-Reglers parallel zur Basis-Emitter-Strecke gelegt. Bevor man erneut die I_B-Taste im Bereich β = 10 . . . 100 drückt, wird ein Nachregeln der I_{CEO}-Kompensation notwendig, da der Reststrom jetzt kleiner ist als bei offener Basis-Emitter-Strecke. Eine zweite Korrektur empfiehlt sich nach Abgleich dieses Reglers, so daß die Arbeitsgänge doppelt ablaufen. Vom gleichen zweipoligen Schalter, der den Regler anschaltet, wird dem 49-kOhm-Widerstand ein gleich großer parallelgeschaltet, so daß sich bei gedrückter Taste 5 der Basisstrom etwa verdoppelt. Er fließt jedoch nicht voll in die Basis, sondern zum Teil in den parallelliegenden Regler. An diesem wird nun so lange gedreht, bis wieder 1 mA Kollektorstrom angezeigt wird. In diesem Falle hat der Regler gerade die Hälfte des Basisstroms übernommen, d. h., sein Wert entspricht dem Gleichstromwiderstand der Basis-Emitter-Strecke bei diesem Strom. Der am Regler ablesbare Wert wird notiert und zur Beurteilung der Paarigkeit von Transistoren neben β und I_{CEO} mit herangezogen.

4.1.3. Tester für Leistungstransistoren

Großer Arbeitspunktstrom und entsprechend niederohmige Batterie (z. B. Monozellen, für weniger häufige Benutzung auch Trockenakkus RZP 2) sowie Wegfall der Kompensation ($I_C \gg I_{CEO}$) – das sind die Kennzeichen eines Testers für Leistungstransistoren. Bild 20 enthält die einfachste Variante (gleitender Arbeitspunkt) mit allen notwendigen Daten.



U	R
2 V	~ 600 Ω
3 V	~ 1 kΩ
4 V	~ 1,2 kΩ
6 V	~ 2 kΩ

Bild 20
Einfachster Tester für Leistungstransistoren (vgl. Bild 14)
Skala in 100 Teilen eichen; maximale Stromverstärkung 100 (bei J_C = 300 mA)

Bild 21
Prinzip eines Testers für Flächengleichrichter für Sperr- und Durchlaßrichtung
a – Durchlaß,
b – Sperr 0 . . . 20 V (Pfeil heißt „wachsend"),
c – Sperr 0 . . . 200 V und Kombination der Teilschaltungen
S_1 für 10-A-Gleichrichter
Schalterstellungen a, b, c entsprechend den Prüfungen (zu a gehört Multizet-Stellung 1,5 V!)

Bild 23
Tester mit Tastensatz und Eigeninstrument

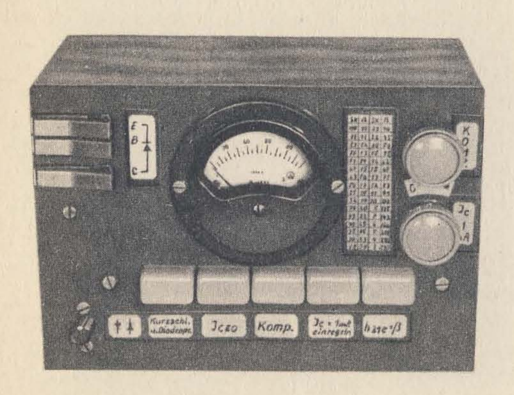
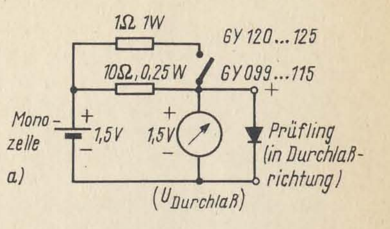
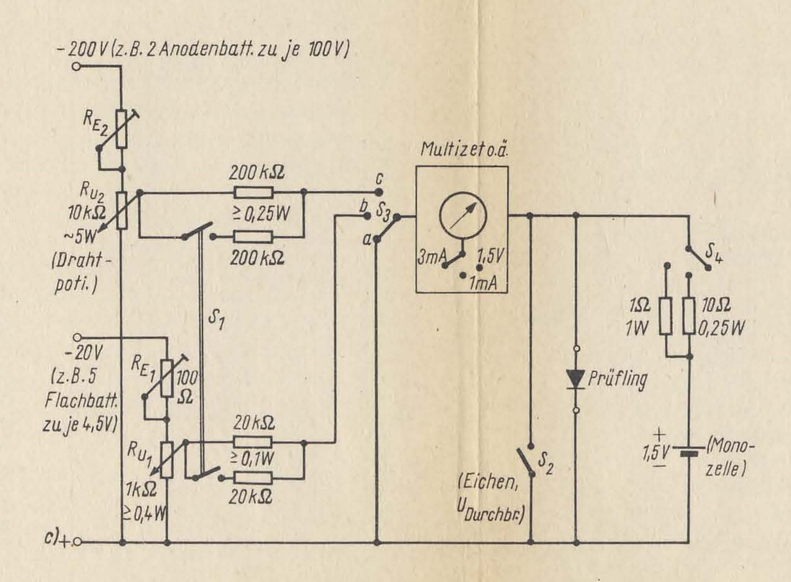


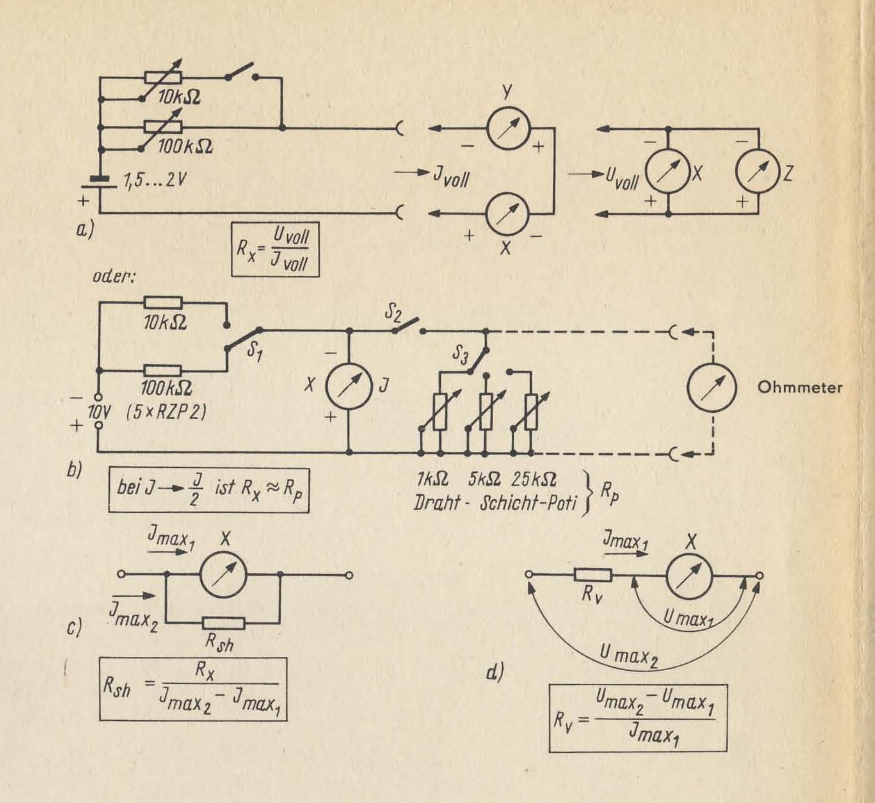
Bild 22
Ermittlung der Daten unbekannter Meßwerke und Bereichserweiterungen
a – Strom und Spannung für Vollausschlag
b – Innenwiderstand (S_2 nach Ermittlung)
c – Erweitern des Strommeßbereichs
d – Erweitern des Spannungsmeßbereichs



Prüfling	Instrument
ohne	~ 1,5 V
Sperr-Richtg.	~ 1,5 V
Durchlaß-R.	≲ 0,8 V

Prüfling ähnlich ...	U_D messen, wenn J sperr:
GY099...105	> 0,1 mA ↗
GY109...115	> 0,2 mA ↗
SY100...130	≫ 0,02 mA ↗
GY120...125	> 1,5 mA ↗





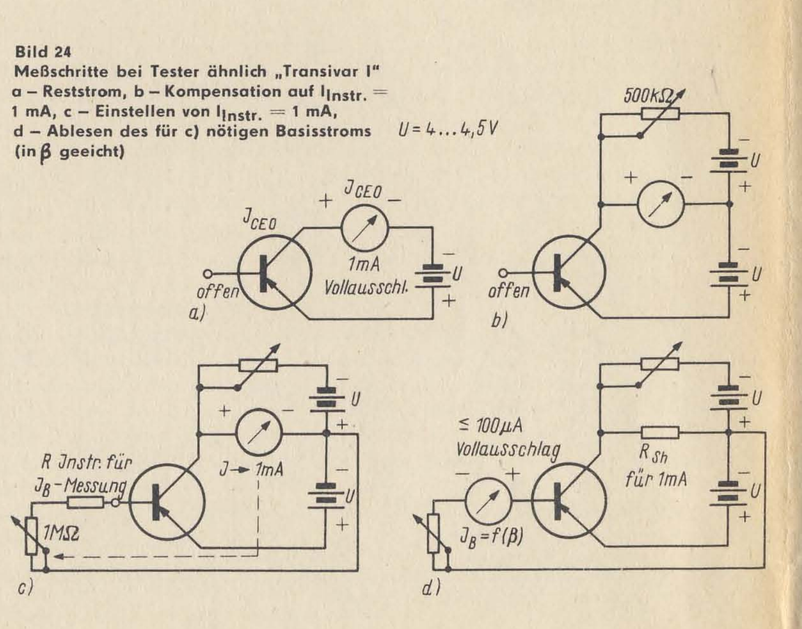
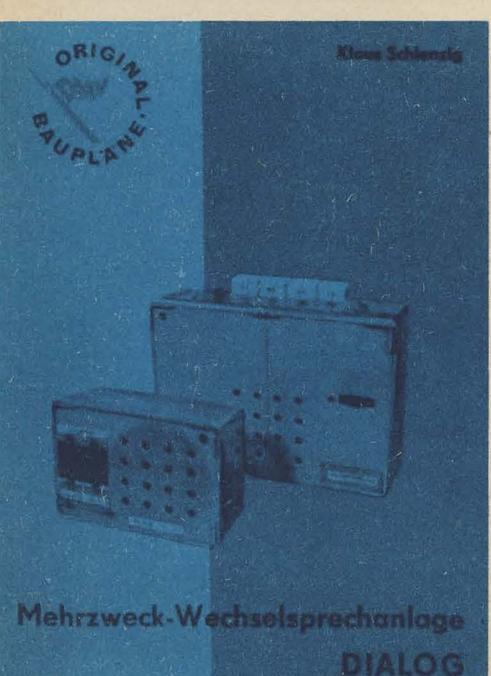


Bild 24
Meßschritte bei Tester ähnlich „Transivar I"
a – Reststrom, b – Kompensation auf $I_{Instr.}$ = 1 mA, c – Einstellen von $I_{Instr.}$ = 1 mA,
d – Ablesen des für c) nötigen Basisstroms
(in β geeicht)







Lieber Leser!

Hier sehen Sie die Titelbilder der augenblicklich noch begrenzt lieferbaren Originalbaupläne.

In Herstellung befinden sich:

Originalbauplan Nr. 5

Transistor-Elektronik für Modellbahnen

von R. Oettel / K. Schlenzig

– erscheint etwa August 1966 –

Originalbauplan Nr. 6

Transistortaschensuper JUNIOR 1 bis 3

von Klaus Schlenzig

– erscheint etwa September/Oktober 1966 –

Kritische Hinweise und Anregungen nimmt jederzeit unter dem Stichwort „Elektronikbaupläne" gern entgegen

Ihr **Deutscher Militärverlag**
1055 Berlin, Storkower Straße 158

Am Multizet wird von I_{CEO} (3 oder 15 mA Vollausschlag) auf I_C (300 mA Vollausschlag) umgeschaltet. Den Stromverstärkungswert (0 bis 100) liest man dabei wieder an der dekadischen Skala nach Bild 16 ab (Skalenwert 1000 entspricht Stromverstärkung 100).
Selbstverständlich ist auch die Transivar-Lösung nach Bild 24 (Schalterverdrahtung s. Bild 35 c) für Leistungstransistoren möglich, wenn mit entsprechend größeren Strömen gearbeitet wird (I_B größer, Multizet also auch für I_B und damit Anzeige der Stromverstärkung verwendbar!); die Kompensationsschaltung entfällt.
Die beim Testen von Leistungstransistoren auftretenden Ströme legen es allerdings nahe, den eventuell vorgesehenen Tastenschalter nicht unter Last zu schalten. Als zweckmäßig erweist sich in diesem Fall ein getrennter Batterieschalter, der vor jeder Tastenbetätigung abzuschalten ist. Dafür eignet sich ein einpoliger Schiebeschalter von Lanco.

4.1.4. Tester für Gleichrichter

Bei den im Sortiment billiger Halbleiterbauelemente enthaltenen Flächengleichrichtern handelt es sich um Typen zwischen 0,1 und 1 A Durchlaßstrom (Germaniumgleichrichter mit Sperrspannungen zwischen etwa 10 und 200 V) sowie um Siliziumgleichrichter für 1 A Durchlaßstrom und im günstigsten Falle mehreren 100 V Sperrspannung (vgl. Bild 4). Grundsätzliches zu den Eigenschaften wurde bereits gesagt. Prinzipschaltungen zur Durchlaß- und zur Sperrprüfung sowie ein Auswerteschema für die Meßergebnisse enthält Bild 21a und b, während Bild 21c die Gesamtschaltung für beide Richtungen zeigt. Notwendig ist wieder nur ein Multizet oder ein ähnlicher Vielfachmesser, der mindestens die Bereiche 1 und 3 mA sowie 1,5 V aufweist.
Während in Durchlaßrichtung lediglich die sich einstellende Durchlaßspannung festgestellt wird (auch eine Stellung für 10-A-Gleichrichter wurde vorgesehen), kann man in Sperrichtung den Sperrstrom für verschiedene Spannungen messen. Der Messung geht in diesem Fall eine Eichung voraus, da es sich aus Sicherheitsgründen empfiehlt, die relativ hohe Prüfspannung nicht über Gleichrichter und Siebglieder dem Netz, sondern Anodenbatterien (bzw. einem Transverter) zu entnehmen. Bei voll aufgedrehtem R_U und vorher geschlossener Eichtaste ist mit R_E am Instrument (Bereich 1 mA) Vollausschlag einzustellen. An der dekadischen Skala kann man dann später bei beliebiger Stellung von R_U (abhängig vom Prüfling) über den Faktor 0,2 die gerade benutzte Prüfspannung ablesen, sobald die Eichtaste gedrückt wird. Das gilt für den 200-V-Bereich (Vollausschlag 1000 × 0,2 = 200 V). Bei 20 V ist der Faktor sinngemäß 0,02.
Auf Grund des Kennlinienverlaufs und der gewählten Schaltung sowie durch das Verhältnis von Meßstrom zu Vollausschlag ist der auftretende Meßfehler dieser Spannungsmessung für den Amateur tragbar, besonders bei höheren Spannungen. Man beachte auch hier das bereits geschilderte Prinzip, daß der Strom durch den Spannungsteiler etwa zehnmal so groß sein soll wie der maximal entnommene Prüfstrom.
Prüffolge:
a – Durchlaßprüfung – Multizet auf 1,5 V. Gleichrichter bei unbekannter Polarität so drehen, daß Ausschlag zurückgeht. Gleichrichter bleibt in dieser Position angeklemmt!

Multizet auf 1 mA schalten.
b – Sperrprüfung bei 0 ... 20 V – b1) Eichen: S_2 schließen, mit R_{E1} 1 mA einstellen, S_2 öffnen
c – Sperrprüfung bei 0 ... 200 V – c1) Eichen mit R_{E2} auf 1 mA. Für 10-A-Gleichrichter Multizet auf 3 mA, zweipoligen Schalter S_1 schließen.

4.2. Geräte mit Eigeninstrument

Im Handel gibt es zahlreiche verschiedene Drehspulmeßwerke, meist bereits in Stromwerten geeicht. Wie sich alles Wissenswerte über sie ermitteln läßt (ggf. im Radioklub), das zeigt Bild 22.

4.2.1. Vollausschlag 1 oder 1,5 mA

Zu diesen Testern ist wenig zu sagen, da sie im Grunde nur das Instrument als festen Bestandteil enthalten, das vorher vom Multizet vorübergehend zur Verfügung gestellt wurde. Solche relativ unempfindlichen Meßwerke aber gibt es meist recht preiswert. Leider können sie in den

verschiedensten Gehäusegrößen und -formen vorkommen, je nach Hersteller und Jahr. Heute hat dem die Standardisierung ein Ende gemacht, doch moderne Instrumente sind schwerer zu haben und auch teurer. Daher muß auf Maßskizzen leider verzichtet werden. Bild 23 zeigt eine der zahlreichen Aufbaumöglichkeiten im Foto.
Zweifellos ist die im nächsten Abschnitt vorgestellte Variante mit 100-μA-Meßwerk die eleganteste, da dort ein definierter Arbeitspunkt eingestellt wird und man die Stromverstärkung dann an der entsprechend geeichten Skala direkt ablesen kann (s. Transivar!). Falls aber Transistoren bei höherem Kollektorstrom als 1 mA gemessen werden können, reicht auch ein unempfindlicheres Meßwerk. Es kommt doch immer nur darauf an, daß ein Vergleich verschiedener Exemplare möglich ist, ohne daß die Absolutwerte ganz exakt den „Normbedingungen" entsprechen müssen. Sofern der Transistor also diese Belastung aushält (was man durch kleinere Meßspannung erreichen kann), ist das 1-mA-Meßwerk auch für die noch in der Tastensatzverdrahtung gezeigte Variante 4.2.2. geeignet.

4.2.2. Vollausschlag 100 μA

Bild 24 zeigt das Prinzip des mit einem solchen Meßwerk möglichen Testers für Vorstufen- und Kleinleistungstransistoren. Bei Anpassung an den Bereich mit Parallelwiderstand sind hier auch die modernen Vielfachmesser mit 50-μA-Meßwerk geeignet. Der Tester gestattet die Messung des Reststroms, der dann in der üblichen Weise kompensiert wird. Danach stellt man einen Arbeitspunkt von 1 mA Kollektorstrom ein, und bei diesem Arbeitspunkt wird immer gemessen. Das empfindliche Meßwerk ermöglicht die unmittelbare Messung des Basisstroms, der für die 1 mA notwendig ist. Dazu enthält der Tester einen größeren Aufwand an Umschaltkontakten, die nur mit einem Tastenschalter fehlerfrei zu beherrschen sind (s. Abschnitt „Praktischer Aufbau"). Damit in den Meßkreisen durch Einfügen bzw. Herausnehmen des Meßwerks wegen der damit verbundenen Änderungen des Gesamtwiderstands bei den einzelnen Arbeitsgängen keine Fälschung auftritt, wird jeweils statt des Meßwerks sein Ersatzwiderstand eingefügt (das geschah übrigens auch bei der Variante 4.1.2.) bzw. im Kollektorkreis verbleibt der Parallelwiderstand für 1 mA Anzeige (der 1/9 des Instrumentenwiderstands betragen muß). Dieser Parallelwiderstand wird „Shunt" (engl.) genannt.
Aus dem Basisstrom für 1 mA Kollektorstrom (exakt: Kollektorstromänderung, da Reststrom auch weiterhin fließt) erhält man β zunächst erst über $\beta = \frac{1000}{J_B}$, wenn I_B in μA (1/1000 mA) eingesetzt wird. Die Rechnung läßt sich durch einmalige Skaleneichung umgehen. Da es sich um die Funktion $y = 1/x$ handelt, ist keine lineare Teilung zu erwarten. Der größte Ausschlag entspricht der kleinsten Stromverstärkung. Aus obiger Gleichung werden genügend viele Skalenwerte errechnet. Diese vermerkt man über den entsprechenden Strömen auf der Skala.
Beispiel: $I_B = 50$ μA, daraus $\beta = 1000/50 = 20$, also bei Skalenwert 50 μA in neuer Skala $\beta = 20$ eintragen, bei 25 μA 1000/25 = 40 usw. 100 μA Vollausschlag erlauben bei 1 mA Kollektorstrom das Messen einer kleinsten Stromverstärkung von 10. Größere Stromverstärkungen (entsprechend kleine Basisströme) mißt man natürlich genauer, wenn ein noch empfindlicheres Meßwerk zur Verfügung steht, z. B. mit 50 μA Vollausschlag (s. die modernen Vielfachmesser!). Es lassen sich dann zwei Bereiche vorsehen, indem man für 10 ... 100 das Meßwerk auf 100 μA shuntet, während es für 20 ... etwa 200 ohne Parallelwiderstand benutzt wird. Umgekehrt kann bei einem zur Arbeitspunkteinstellung auf 2 mA geshunteten Instrument auch mit 100-μA-Meßwerk 20 ... 200 erfaßt werden, denn der Arbeitspunkt für Vollausschlag ist dann 2 mA, d. h. $I_B = \frac{2000}{20} = 100$ μA für $\beta = 20$.
Die Reihenfolge der Prüfungen, wie sie der Tastenschalter vorschreibt und wie sie aus Bild 24 hervorgeht, sei nochmals kurz wiederholt:
Reststrom bei offener Basis mit 1-mA-Bereich im Kollektorkreis, Basis offen;
Kompensation des Reststromausschlags mit Regler durch gleich großen, entgegengesetzt gerichteten Strom durch das Meßwerk;
hochohmige Einspeisung (sonst sinkt I_{CEO}, und die Kompensation stimmt nicht mehr) eines Basisstroms über einen zweiten Regler, bis Kollektorstrom 1 mA;
Messen dieses Basisstroms mit dem ungeshunteten Meßwerk.

4.3. Hinweise zum Schutz des Meßinstruments

In allen bisher beschriebenen Schaltungen gefährden Transistoren mit durchgeschlagener Kollektorsperrschicht das Meßwerk infolge zu hoher Ströme. Alle Tester sollten daher, wenn nicht eine Vorauslese erfolgt, einen Zusatz nach Bild 25 erhalten, der im Instrumentenkreis liegt und dessen Schalter zunächst offen ist. Transistoren mit Kurzschluß lassen dann das Instrument nahezu oder ganz bis zum Ende ausschlagen, einwandfreie dagegen liefern einen reststromabhängigen, wesentlich kleineren Wert. Erst im letzten Falle sollte man den Schalter schließen und mit der Messung beginnen. Bei geöffnetem Schalter ist mit diesem Zusatz auch eine Diodenfunktionsprüfung möglich, da im Durchlaßfall ein Ausschlag kurz unterhalb Vollausschlag zustande kommt, während nach Umpolen der Diode nur ein sehr geringer Ausschlag auftreten darf. Das ganze „Geheimnis" dieses Zusatzes besteht darin, daß dem Instrument ein Widerstand vorgeschaltet wird, der für die Batteriespannung Vollausschlag am Instrument bedeutet. Der Widerstand hat die Größe $\frac{U_{Batt.}}{J_{Vollaus}} - R_{Jnstr.}$ Da die Batterie altert, kann man „Komfort" dadurch einbauen, daß etwa 30 % dieses Wertes als Einstellregler ausgeführt werden. An diesem regelt man zunächst bei kurzgeschlossenen Klemmen E–C auf Vollausschlag ein (an die Klemmen E–C legt man auch die zu testenden Gleichrichter; Durchlaßrichtung bedeutet Strompfeil in Richtung C).

5. Hinweise für weitere Tests

Die hier beschriebenen Tester beschränken sich auf Gleichstromprüfungen. Daneben werden in der Industrie zur Ermittlung der Wechselstromeigenschaften verschiedene Meßverfahren mit oft recht hohem apparativem Aufwand angewendet.
Zwischen beiden stehen Tests am Transistor in der Schaltung.

5.1. NF-Schwingtest

Der Prüfling wird in einer induktiven Dreipunktschaltung betrieben. Die Rückkopplung ist einstellbar. Die Reglerstellung bei Schwingeinsatz (Ton im Lautsprecher) gibt ein Maß für die Verstärkung des Transistors.

5.2. HF-Schwingtest

Man benutzt dazu eine übliche Audionschaltung. Der Transistor wird lediglich daraufhin untersucht, ob er im gesamten vom Schwingkreis erfaßten Bereich noch schwingt (Rückkopplungspfeifen).

5.3. Rauschtest

Ein normaler Verstärker mit Gegentakt-Endstufe, Treiber und zwei Vorstufen wird durch einen Tastenschalter so erweitert, daß sich der Prüfling für jeden der drei ersten Transistoren einblenden läßt. Die Höhe des Rauschpegels im Lautsprecher deutet an, bis zu welcher Stufe der Einsatz sinnvoll ist.
Das ist nur eine kleine Auswahl von weiteren Möglichkeiten für den Selbstbau, die näher zu beschreiben leider aus Platzmangel nicht möglich ist.

6. Praktischer Aufbau

Im Gegensatz zu den bisherigen Bauplänen kann bei Testgeräten infolge des großen Angebots der verschiedensten Instrumente und Vielfachmesser nur wenig in Maßskizzen angegeben werden. Hier muß der Leser sich auf Grund seiner praktischen Fähigkeiten aus seinen speziellen Teilen sein spezielles Gerät machen.

Bild 26 deutet den grundsätzlichen Aufbau eines Multizet-Zusatzes mit Tastenschalter an.

Das Äußere des Rauschtesters muß nicht wesentlich anders aussehen. Wichtige Einzelheiten sind noch die Transistoranschlüsse und die Batteriekontaktierung. Sofern es sich um Transistoren mit Drahtanschlüssen handelt, hat sich die 5polige Subminiaturröhrenfassung („Sägebock") gut bewährt. Man kann sie in einen entsprechenden Ausschnitt der Frontplatte fest einsetzen und ankleben. Um Irrtümern beim Stecken vorzubeugen, entfernt man den zweiten und den vierten Kontakt. Die Frontplatte enthält Beschriftung und eventuell die Sockelschaltbilder der verschiedenen Typen.

Leistungstransistoren muß man anders kontaktieren, z. B. mit zwei Federn aus einer Röhrenfassung für e und b und mit einer Krokodilklemme für c.

Die Kontaktierung der kleinen „Trockenakkus" RZP 2 ist denkbar einfach, da die Federwirkung bereits in den Anschlüssen liegt. Ein Streifen Leiterplattenmaterial, mit der Feile oder Rasierklinge gemäß Bild 27 b geritzt (Kupfer dort abschälen), gibt Gegenkontakte und Zwischenverbindungen. Es empfiehlt sich, zwecks besserer Federung die Anschlüsse der Akkus etwas an den Enden nach unten abzubiegen (27a). Die Lagerung kann zwischen zwei auf der Grundplatte oder im Gehäuse befestigten Isolierklötzchen oder Blechwinkeln erfolgen.

Schwieriger wird die Sache bei Monozellen, die dann in Frage kommen, wenn öfter Leistungstransistoren in größerer Stückzahl gemessen werden sollen (andernfalls genügen die Akkus mit ihrem kleinen Innenwiderstand). Sicherste Methode bei Monozellen ist Löten. Dabei darf die Zelle aber nicht zu stark erwärmt werden. Man säubere gut mit Schmirgelleinen und benutze entsprechendes Flußmittel (z. B. WFF). Um das Löten zu erleichtern, wird der Minusanschluß am oberen Rand der Zelle abgenommen.

Die wichtigste Einzelheit für den Gebrauchswert der beschriebenen Tester besteht in der richtigen Verdrahtung des Tastensatzes. Die folgenden Bilder zeigen daher die Verdrahtung einzelner Geräte. Allerdings gibt es außer dem verwendeten Neumann-Miniatur-Schiebetastensatz MT 3 . . . 7 (10) (Zahl = Anzahl der Tasten; mit je 3 Ein- und 3 Aus-Kontakten auf jeder der abhängig voneinander schaltenden Tasten) noch zwei Ausführungen des VEB Elektrotechnik Eisenach. Von der älteren ist aus Gründen der Zuverlässigkeit abzuraten; sie enthält je Taste 4 Umschalter. Die neuere Ausführung mit 6 Umschaltern je Taste, erkennbar an der weißen Vergußmasse auf der Lötösenplatte, ist wesentlich günstiger. Außerdem erleichtert der „Übersetzungsschlüssel" (Bild 28) seinen Einsatz statt des Neumann-Schalters.

Bild 29 schließlich gibt die Tastenverdrahtung für die einzelnen Geräte im Falle des Neumann-Schalters wieder.

7. Digitale Tester

Schnelle Prüfung, eindeutige Information mit großen Leuchtfeldern, keinerlei Bedienungselemente – das sind die Vorzüge eines Dioden- oder Transistortesters mit Lampenanzeige. Entsprechend hoch ist der Aufwand, 13 Transistoren im Falle des Transistortesters (!). Die Beschreibung dieser Geräte geht über den Rahmen dieses Bauplans schon aus Platzgründen hinaus; Interessenten müssen sich daher die entsprechenden Hefte von „radio und fernsehen" besorgen (bzw. Fotokopien). Sie sind in der Literaturzusammenstellung genannt.

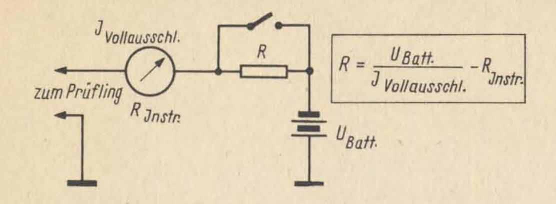


Bild 25
Instrumentenschutz bei defekten Prüflingen (für alle Tester). Schalter wird erst geschlossen, wenn Instrument weniger als Vollausschlag zeigt. Erst dann in den einzelnen Schaltungen mit eigentlicher Messung beginnen.

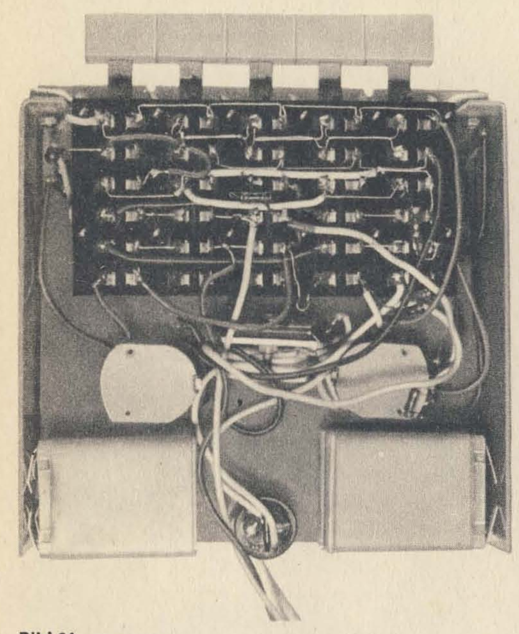


Bild 26
Testzusatz für Multizet mit Drucktasten

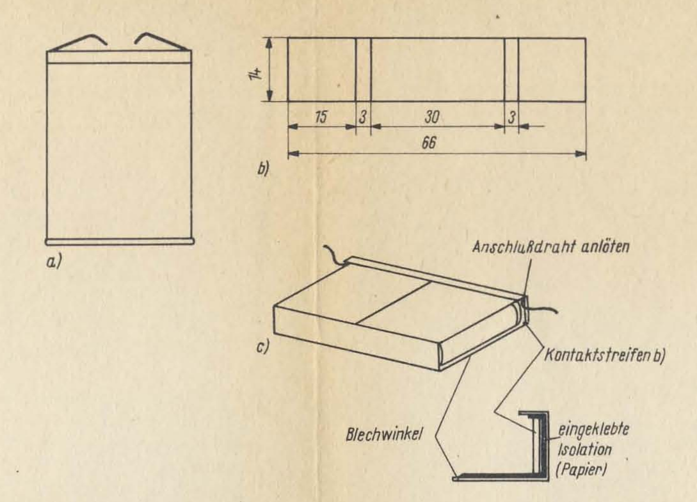
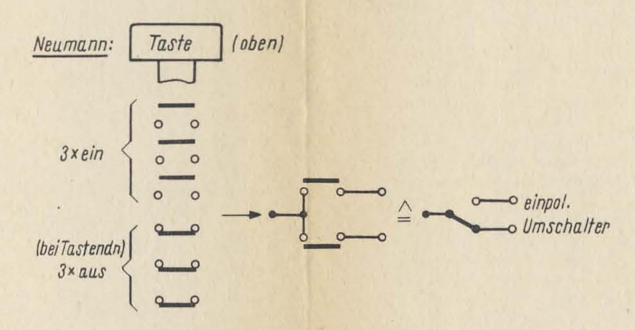


Bild 27
Kontaktieren von Trockenakkus RZP 2
a – Vorbereiten der Anschlüsse mit Flachzange
b – Streifen für 4 V; kupferkaschiertes Hartpapier, Folie auf je 3 mm Breite mit Rasierklinge einritzen und abschälen
c – Halterung aus Blech (0,8 mm) oder PVC (1,5 mm)



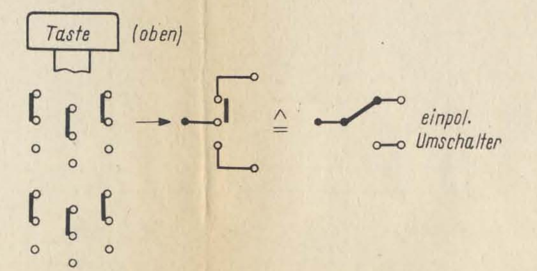


Bild 28
„Übersetzerschlüssel" von Miniaturtastenschalter Neumann auf Schiebetastenschalter des VEB Elektronik Eisenach

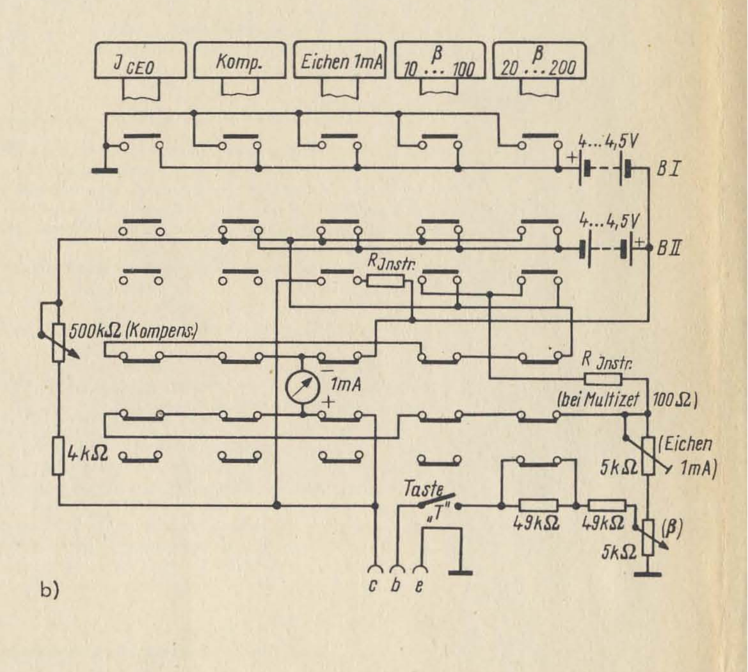
J CEO
Komp.
β
~2kΩ
Komp.
500 kΩ
400kΩ
Multizet
1 oder 3mA
e b c

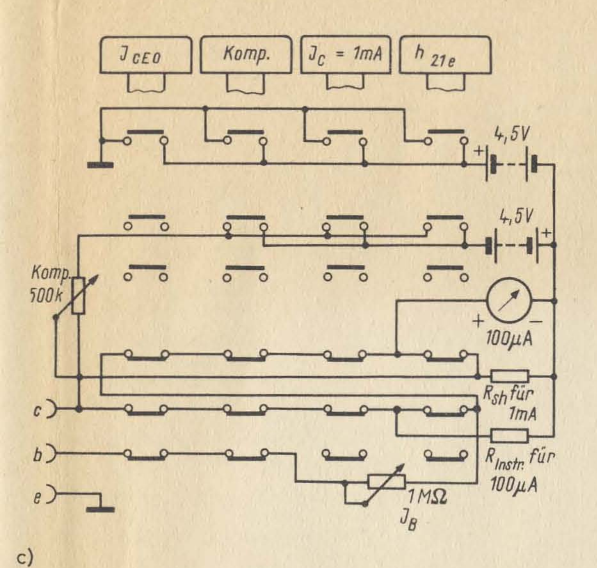
a)

Komp.
500k
c
b
e

c)

Bild 29
Tastenverdrahtungen für die Tester
a – Bild 15, b – Bild 17, c – Bild 24





c)

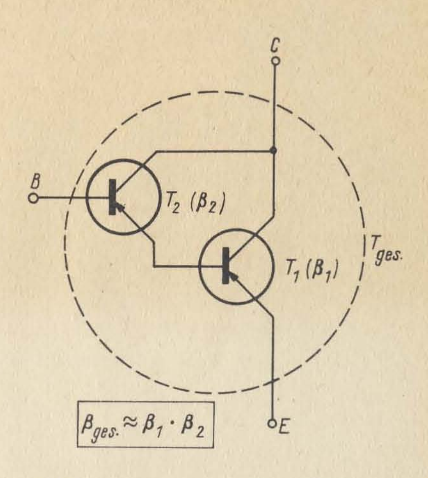


Bild 31
Tandemschaltung, geeignet für Transistoren mit kleiner Stromverstärkung und kleinem Reststrom. Die Stromverstärkungen multiplizieren sich, der Reststrom wird entsprechend größer

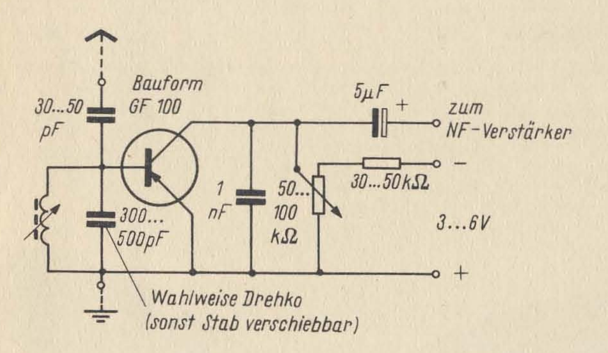


Bild 30
Einfacher Einkreiser-Eingangsteil für HF-Transistoren mit hohem Reststrom und größerem Rauschen
Ferritstab 8 × 100, 60 Wdg., 0,3-mm-CuL, oder 10 × 0,07 auf 50 mm Länge

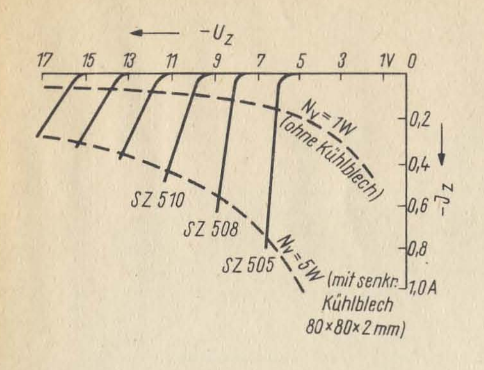


Bild 32
Kennlinien von Zenerdioden (Betrieb in Sperrichtung!)
Die Schaltung muß so dimensioniert werden, daß
a – der Mindeststrom Arbeiten im geradlinigen Teil der Kennlinie gestattet und
b – der größte Strom noch innerhalb der gestrichelt eingegrenzten Fläche liegt

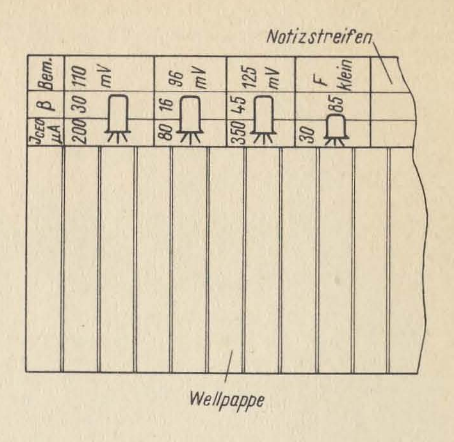


Bild 33
Sortiervorschlag für ausgemessene Halbleiterbauelemente (statt dessen können auch verschiedenfarbige Punkte oder Punktgruppen z. B. aus Nitrolack aufgebracht werden)

8. Schaltungen mit „schlechten" Transistoren

An dieser Stelle darf man keine großen Schaltungsbeschreibungen erwarten. Wichtiger sind grundsätzliche Hinweise, wie in den Daten als ungünstig ermittelte Transistoren noch einer Verwendung zugeführt werden können. Im einzelnen sind dies:

8.1. Hohes Rauschen und großer Reststrom

Diese beiden Eigenschaften sind oft gekoppelt. Der Reststrom der Emitterschaltung nähert sich jedoch dem um den Faktor $1/\beta$ kleineren Wert der Basisschaltung, wenn die Basis gleichstrommäßig möglichst mit dem Emitter verbunden wird. Das ist möglich mit einer kleineren Induktivität. Gleichzeitig wird damit auch NF-mäßig die Basis „kurzgeschlossen", und der NF-Anteil der rauschenden Basis-Emitter-Strecke entfällt. Mit solchen Transistoren kann man bei genügender Grenzfrequenz noch eine Art Kollektorgleichrichter für Ortssenderempfang aufbauen. Im Nahfeld, bei zu großer Eingangsspannung, muß allerdings durch entsprechend losere Antennenkopplung bzw. durch Drehen des Ferritstabs den auftretenden Verzerrungen entgegengewirkt werden. Bild 30 gibt ein Beispiel.

8.2. Sehr hohe Stromverstärkung, hoher Reststrom, thermisch instabil

Die „Bekämpfung" erfolgt ähnlich 8.1. Allerdings wird die Basis-Emitter-Strecke nicht kurzgeschlossen, sondern nur entsprechend niederohmig gemacht. Das geschieht im Zuge der I_{CEO}-Messung. Man legt am besten einen 10- oder 25-kOhm-Regler, in Widerständen geeicht, parallel zur Basis-Emitter-Strecke (vgl. Zusatz zur Pärchenauslese!) und regelt auf etwa 100 bis 200 μA Basisstrom bei Zimmertemperatur ein. Man notiert den Wert, führt aber außerdem auch die β-Messung mit diesem Widerstand zusammen durch: Man mißt ihn also mit ein. Die effektive Stromverstärkung wird natürlich kleiner, da der Widerstand einen Teil des Eingangsstroms abzweigt. Übrigens kann man solche Exemplare, wenn auf die genaue Stromverstärkungsangabe kein Wert gelegt wird, in der Schaltung auch einfach mit einem entsprechend niederohmigen Teiler vorspannen.

8.3. Sehr kleine Stromverstärkung bei kleinem Reststrom

Hier bietet sich die „Tandemschaltung" an; aus zwei Transistoren wird einer mit entsprechend höherer Stromverstärkung, aber auch mit größerem Reststrom, da der zweite den des ersten infolge der Gleichstromkopplung mitverstärkt (Bild 31).

8.4. Transistor als Diode

Dies ist die „letzte Rettung", wenn eine der pn-Strecken durchgeschlagen oder „abgebrannt" ist. Je nach Transistortyp verwendet man die heilgebliebene Strecke (Basis–Emitter oder Kollektor–Basis) als HF-Diode (wenn es ein HF-Typ war), als Kleinflächengleichrichter (bei Kleinleistungstypen) oder als Gleichrichter für mittlere Ströme (Leistungstransistor). Allerdings sollten nie mehr als 10 V an der Kollektorstrecke auftreten.

8.5. Zener-Leistungsdioden

Zum Sortiment gehören auch diese Typen. Aus Platzgründen mußten sie gegenüber dem Transistor zurücktreten. Ihre Funktion ersieht man aus Bild 32. Bei einer bestimmten Sperrspannung wächst der Sperrstrom stark an, ohne daß die Spannung sich noch wesentlich ändert. Bei Erreichen der gestrichelten Linie wird die zulässige Grenzleistung in der Sperrschicht umgesetzt, Überschreiten bedeutet „Tod". Die Linie gilt bei entsprechender Kühlfläche, andernfalls verschiebt sie sich nach oben. Aus der Kennlinie erkennt der Fortgeschrittene Einsatz- und Prüfmöglichkeiten: Bei der Prüfung Spannung langsam hochfahren und Strom laufend beobachten. Bei Erreichen der Zenerspannung am besten nur noch mit einem niederohmigen Feinregler weiter„fahren"; mit Schutzwiderstand Strom begrenzen. (Schutzwiderstand etwa $\frac{U_{Batt.} - U_Z}{I_{max}}$; I_{max} ist der Strom, bei dem die Kennlinie die gestrichelte Leistungshyperbel erreicht.) In Schaltungen zur Spannungsstabilisierung, für die Zenerdioden u. a. verwendet werden, ist der Vorwiderstand ebenfalls so zu dimensionieren, daß bei Lastausfall höchstens I_{max} fließen kann. Einsatzbereich und Schaltungstechnik der Zenerdiode sind sehr vielfältig, leider kann hier nicht näher darauf eingegangen werden, denn das erfordert größeren Raum. Dabei geht es auch nicht ohne Mathematik.

9. Allgemeine Hinweise

Der bester Tester nützt nichts, wenn die Exemplare nach dem Messen wieder durcheinandergeraten. Während man bei Leistungstransistoren die Daten unten einkratzen oder aufschreiben kann, geht das bei HF- und Vorstufentypen nur schlecht. Hier bietet sich die neuerdings vom Hersteller verwendete Verpackungsart in Wellpappe an. Man klebt einen etwa 30 mm breiten Wellpappestreifen auf eine etwa 50 mm breite Unterlage, die drei Spalten enthält: β, I_{CEO}, Bemerkungen (darunter Rauschen oder U_{BE} eintragen). Jedes zweite der von der Wellpappe gebildeten Röhrchen wird belegt. Bild 33 macht den Vorschlag deutlich.

10. Literatur zum Thema

(1) Fischer: Transistortechnik für den Funkamateur, 3., erw. Auflage, 1963, Deutscher Militärverlag

(2) Schubert: Das große Radiobastelbuch, 3., erw. Auflage, 1966, Deutscher Militärverlag

(3) Schlenzig: Digitaler Diodentester, radio und fernsehen 14 (1965), Heft 2

(4) Schlenzig: Digitaler Transistortester, radio und fernsehen 14 (1965), Heft 10 und 11

Weiterhin kann empfohlen werden

aus der Reihe „Der praktische Funkamateur":

Fischer: Einführung in die Dioden- und Transistortechnik, Heft 34
Morgenroth: Funktechnische Bauelemente Teil II, Heft 37
Jakubaschk: Transistormeßgeräte, Heft 40

aus der Reihe „Der junge Funker":

Jakubaschk: Transistortechnik leichtverständlich, Heft 3, 2. Auflage, 1966
Jakubaschk: Messen – aber wie?, Heft 5
Schubert: Mit Transistor und Batterie, Heft 6, 2. Auflage, 1966

11. Bezugsquellen

Billige „Bastlertransistoren" führt jedes Einzelteilgeschäft. In vielen von ihnen erhält man auch Tastenschalter, Widerstände und Instrumente. Richtpreise: Neumann-4-Tastenschalter etwa 6,– MDN, 1-mA-Instrument zwischen 15,– und 30,– MDN, 100-μA-Meßwerk o. ä. zwischen 40,– und 60,– MDN. Man wähle kein zu kleines Exemplar, damit sich genügend Ablesegenauigkeit ergibt und damit auf der Skala auch mehrere Bereiche angebracht werden können. Richtwert für den Zeigerweg: möglichst über 50 mm.

Da die üblichen Potentiometer 2,– bis 3,– MDN kosten, hat man bei einem Tester ohne Eigeninstrument mit weniger als 15,– MDN, bei einem mit 1-mA-Meßwerk mit etwa 40,– MDN Auslagen für die elektrischen Teile zu rechnen, während die teuerste und komfortabelste Lösung (ähnlich Transivar) etwa 70,– MDN erfordern dürfte.

1.–20. Tausend · Redaktionsschluß: 12. Oktober 1965 · Deutscher Militärverlag · Berlin 1965 · Lizenz Nr. 5
Lektor: Sonja Topolov · Typografie: Günter Hennersdorf · Zeichnungen: Hildegard Seidler
Korrektor: Hans Braitinger · Hersteller: Werner Briege · Gesamtherstellung: Sachsendruck Plauen

Auszug aus dem Katalog Halbleiter-Bauelemente · VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder

Germanium-Transistoren mit größerem Toleranzbereich **Transistoren**

Typ	Statische Werte		Dynamische Werte		Höchstwerte			Bauform	Verwendungszweck
	$-J_{CBO}$ [μA]	$-J_{CEO}$ [μA]	f_{h21b} (f_1) [MHz]	h_{21e} (Y_{21e}) $\frac{[mA]}{[V]}$	Pc [mW]	$-J_C$ [mA]	$-J_{CE}$ [V]		
LC 810[1])	≤ 30	≤ 1000	≥ 0,2	10 . . . 80	25	15	10	13	NF-Transistor für Vorstufen
LC 815	≤ 30	≤ 1000	≥ 0,2	10 . . . 80	50 . . 100	50	10	13	NF-Transistor
LC 824	≤ 30	≤ 1500	≥ 0,2	10 . . . 80	120 . . 150	150	–	13	NF-Transistor
LD 830	≤ 50	≤ 2000	–	–	1000	1000	–	15	NF-Leistungstransistor
LD 835	≤ 100	≤ 4000	–	–	4000	3000	–	15	NF-Leistungstransistor
LF 871	≤ 30	≤ 1500	≥ 3,0	20 . . . 100	30	15	–	17	NF-Transistor
LF 880	≤ 15	–	(≥ 10)	(≥ 8)	–	10	–	18	Mischstufen bis 8 MHz
LF 881	≤ 15	–	(≥ 10)	(≥ 8)	–	10	–	18	ZF-Stufen für FM (10,7 MHz)

[1]) Fertigung ausgelaufen

Die Transistoren dieser Typenreihe eignen sich speziell für Lehr- und Amateurzwecke, können aber jederzeit auch in anspruchsvolleren Schaltungen eingesetzt werden. **Zu Sonderpreisen in Fachgeschäften erhältlich**